

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря Сікорського»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
АППАРАТУРИ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Лисенко О.М.

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 20 р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 6.050902 РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Система контролю доступу

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-52

Буханько Данило Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доцент Лебедев Д.Ю.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ - 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки

Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр

Спеціальність 6.050902 РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Лисенко О.М.
(підпис) (прізвище ініціали)

« ____ » _____ 20 __ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

_____ Буханько Данило Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Система контролю доступу

керівник проекту Лебедев Денис Юрійович, доцент

затверджені наказом по університету від 27.05.2019 року №1405с

2. Термін подання студентом проекту 10 червня 2019 року

3. Вихідні дані до проекту Малогабаритна мікропроцесорна система управління доступом. Пристрій належить до області автоматизованих систем безпеки та контролю доступом до приміщень. І націлений на використання в покращення систем безпеки в приміщеннях.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- аналіз технічного завдання;

- огляд існуючих засобів керування, патентний пошук;
- обґрунтування вибору елементної бази та друкованої плати;
- розробка схеми електричної принципової;
- розміщення компонентів на друкованій платі блока керування;
- конструкторсько-технологічні розрахунки;
- електричний розрахунок друкованої плати блока керування;
- розрахунок надійності друкованої плати блока керування;
- розрахунок віброміцності друкованої плати;
- проектування у Altium Designer;
- написання програми для керування;
- висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):

- схема електрична принципова;
- друкована плата;
- складальне креслення.

6. Дата видачі завдання 16.03.19

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання Дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	16.03.19-26.03.19	виконано
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	26.03.19-02.04.19	виконано
3	Схемо-технічне проектування	02.04.19-09.04.19	виконано
4	Виконання креслень схеми електричної принципової	09.04.19-23.04.19	виконано
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	23.04.19-30.04.19	виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	30.04.19-07.05.19	виконано
7	Розрахунок віброміцності друкованої плати	07.05.19-14.05.19	виконано
8	Проектування у Altium Designer	14.05.19-21.05.19	виконано
9	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	21.05.19-28.05.19	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	28.05.19-12.06.2019	виконано

Студент _____ Буханько Д.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ Лебедев Д.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Роботу викладено на 71 сторінках, вона містить 5 розділів, 14 ілюстрацій, 6 таблиць та 18 джерел в переліку посилань.

Об'єктом роботи стала малогабаритна мікропроцесорна система управління доступом. Пристрій належить до області автоматизованих систем безпеки та контролю доступом до приміщень. І націлений на використання в покращення систем безпеки в приміщеннях.

Предмет роботи — контроль та управління доступу на підприємствах та великих офісах.

Метою даної роботи є створення системи контрольованого доступу до приміщень за допомогою спеціальних карток.

У першому розділі зроблено пошук та аналіз існуючих рішень по контролю доступу до приміщень. Виявленні характеристики та параметри, на які потрібно звернути увагу.

У другому розділі розроблено, схему електричну принципову структурну схему та пораховані значення схеми електричної принципової, які підтверджують правильність схемотехнічного рішення.

У третьому розділі було проведено аналіз класів точності та був обраний один з них. Також були обрані типи та матеріали друкованої плати, зроблений підбір елементів та їх оптимальне розташування на друкованій платі.

У четвертому розділі були проведені розрахунки, які підтверджують правильність конструкторського рішення. Була розрахована надійність плати та тепловий режим роботи.

У п'ятому розділі був продемонстрований алгоритм коду. Також було показано, як налаштовувати пристрій.

Ключові слова — SPI; Інтернет речей; система контролю доступу.

Summary

The work is presented on 71 pages, it contains 5 sections, 14 illustrations, 6 tables and 18 sources in the list of references.

The object of the work was a small-sized microprocessor access control system. The device is automated security systems and access control to the buildings. And it aims to be used to improve indoor security systems.

Subject of work - control and management of access at enterprises and large offices.

The purpose of this work is to create the system of controlled access to the buildings with special cards.

The first section deals with the search and analysis of existing decisions on access systems. Identifying the characteristics and parameters which are necessary.

In the second section, were developed the electric principle scheme and the structural scheme and calculated the electric principle values, which confirm the correctness of the circuit design solution.

In the third section, was an analysis of the accuracy classes and one of them was chosen. Also the types and materials of the printed circuit board were selected, it was the selection of elements and their optimal location on the printed circuit board.

In the fourth section, were made calculations that confirm the correctness of the design decision. The reliability of the board and the thermal mode of operation were calculated.

In the fifth section, the algorithm of the code was demonstrated. It also shows how to set up the device.

Keywords - SPI; Internet of Things; access control system.

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: **Система контролю доступу**

Київ – 2019 року

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів	3
Вступ	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ.....	6
1.1 Система контролю та управління доступом.....	6
1.2 Використання концепції Інтернету Речей в СКУД	11
1.3 Концепція Інтернету речей.....	12
Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ	15
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА	25
3.1. Вибір типу та матеріалу друкованої плати.....	25
3.2. Вибір класу точності друкованої плати	27
3.3. Вибір методу виготовлення друкованої плати.....	29
3.4. Розміщення компонентів та трасування ДП.....	30
3.5. Проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer.	32
Висновки до розділу:	34
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ.....	35
4.1. Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ	35
4.1.1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та землі.	35
4.1.2. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.	36

					ДК52.425723.001 ПЗ			
Зм	Анк	№ докум	Підпис	Дп	Система контролю доступу			
Розробив	Бухаченко							
Перевірити								
Розглянуто								
Н	Пісеченко							
Затверджено	Лебедев				<div> <div>Літ</div> <div>Анк</div> <div>Анквилія</div> </div> <div> <div>1</div> <div>**</div> </div> <div>НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського»,</div>			

4.1.3. Визначення номінального діаметру монтажного отвору	37
4.1.4. Визначення діаметра контактної площини.....	37
4.1.5. Визначення мінімальної ширини провідника.	38
4.1.6. Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площиною.	38
4.1.7. Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників).	39
4.1.8. Визначення мінімальної відстані між двох контактних площин.	40
4.2. Електричний розрахунок друкованої плати.	40
4.2.1. Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику.	41
4.2.2. Визначення потужності втрат друкованої плати.	41
4.2.3. Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину.....	44
4.2.4. Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини.....	45
4.3. Розрахунок надійності друкованого вузла	46
4.4.Розрахунок віброміцності друкованого вузла.....	51
4.5.Розрахунок теплового режиму стабілізатора напруги	56
Розділ 5. АЛГОРИТМ ТА НАСТРОЙКА ПРИСТРОЮ.....	61
ВИСНОВКИ.....	68
Список літератури	70

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

ДП – друкована плата

ДМ – друкований монтаж

ДВ – друкований вузол

КЕ – конструктивні елементи

МК – мікроконтролер

ПМ – посадкове місце

ПЗ – програмне забезпечення

САПР – система автоматизованого проектування.

УГП – умовно-графічне позначення

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Вступ

Сьогодні відбувається швидкий розвиток технологій. Сучасні комп'ютери стають багатофункціональними. Людина створює автоматизовані системи роботів які зменшують її втручання в роботу до мінімуму. Це призводить до створення більш комфортного життя.

Одним із способів створення автоматизованих систем є концепція Інтернету Речей. Інтернет речей (IoT) - це система взаємопов'язаних обчислювальних пристроїв, механічних і цифрових машин, об'єктів, тварин або людей, які забезпечені унікальними ідентифікаторами (UID) і здатністю передавати дані по мережі, не вимагаючи зв'язку між людьми або взаємодії з комп'ютером.

Частини системи в інтернеті речей можуть бути людиною з імплантатом серцевого монітору, сільськогосподарським твариною з транспондером біочіпа, автомобілем, який має вбудовані датчики, які попереджають водія, коли тиск в шинах низький або будь-який інший природний або техногенний об'єкт, якому може бути призначена IP-адреса і здатна передавати дані по мережі.

Все частіше організації в різних галузях використовують IoT для більш ефективного функціонування, кращого розуміння клієнтів для забезпечення розширеного обслуговування клієнтів, поліпшення прийняття рішень і підвищення вартості бізнесу.

Системи контролю та управління доступом - це електронні системи, призначені для управління через мережу, і вони повинні мати доступ до мережі. Система контролю доступу розпізнає аутентифікацію і дозволяє авторизуватися для входу в приміщення, таким чином забезпечуючи повний захист системи безпеки.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

У якості ідентифікації використовують різні види карток, чіпів або біометричні параметри людини. Це регулюється необхідним рівнем доступу території, яка охороняється.

Існує багато варіантів системи контролю доступу. Наприклад, в системі безпеки будинку можна також додати систему охоронної сигналізації, систему виявлення вогню та окису вуглецю, систем відеоспостереження із замкнутим контуром.

Також системи контролю доступу є актуальними у великих підприємствах, офісних центрах, на заводах. Саме у таких місцях складно контролювати доступом до території, оскільки працює дуже багато людей.

У сучасних системах контролю доступу є важливий недолік. Всі системи використовують велику кількість кабелів. Особливо це не бажано у великих підприємствах та компаніях, оскільки там використовується велика кількість датчиків, що призводить до збільшення довжини кабелів. Це призводить до створення завад, втрат потужності сигналу. Тому збільшується можливість до появи збоїв у всій системі.

Саме тому краще використовувати систему Інтернет Речей. Дана система будується так, що біля кожного датчика встановлюється контролер з виходом до мережі Інтернет. Тим самим ми зменшуємо використання кабелів до мінімуму й покращуємо ефективність роботи системи.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

1.1 Система контролю та управління доступом

Система контролю та управління доступом забезпечує безпеку, надаючи гнучкий контроль над тим, кому дозволено входити у ваші приміщення.

СКУД є однією з найбільш поширених систем електронного керування дверей за допомогою картки або магнітної смуги, доступ до якої можна отримати, провівши через читач на двері. Ці системи контролю та управління доступом забезпечують найкращу безпеку. [1]

Використання систем контролю доступом дозволяє:

1. Закрити несанкціонований доступ в приміщення, на територію, на окремі поверхи приміщення.
2. Контролювати часове переміщення відвідувачів та співробітників по об'єкту.
3. Спостерігати за обліком робочого часу співробітників.
4. Контролювати входом внутрішніх приміщень.

Області або організації, які потребують високої безпеки, використовують різні типи систем контролю доступу, такі як біометричні, RFID, дверні контролери, пристрої зчитування карток тощо. Безпека мережі також важлива, особливо в компанії, яка обробляє конфіденційні дані.

1.1.1 Принцип роботи систем контролю та управління доступом

Системи контролю доступу дверей працюють від електронного блокувального пристрою. Цей пристрій можна розмістити на внутрішніх або зовнішніх дверях. Для того, щоб увійти до будівлі або кімнати, користувач повинен представити відповідні облікові дані - швидше за все, ключ-картка.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Ключ-картка прикладається до зчитувача або розміщується на картридер. У деяких випадках може знадобитися код, що означає, що користувачеві буде запропоновано ввести правильний код на клавіатурі.

Картридери рекомендуються для областей, які вимагають високого рівня безпеки. Наприклад, у приміщеннях, у яких є гроші, предмети колекціонування або інші об'єкти, які користуються популярністю, варто встановлювати картридери. Також їх варто встановлювати у тих регіонах, де вам доведеться часто блокувати вхід. Картки легко програмувати, тому, якщо у компанії є багато співробітників, то картридери ідеальні.

Дверні системи контролю доступу використовують так званий контролер. Контролери, як правило, працюють близько 32 контрольних точок, але великі можуть одночасно обробляти більше таких точок. Хоча кожен контролер має своє власне програмне забезпечення, всі вони посилаються до сервера, що і є основним програмним забезпеченням. Деякі сервери можуть витримувати сотні контролерів. Якщо є кілька будівель, то в кожній з них може бути власний сервер.

Крім того, що системи дозволяють і обмежують доступ до дверей, вони також можуть бути використані з системами відеоспостереження та різними видами сигналізацій, щоб ви могли бачити, хто входить до будівлі та переглядати будь-які події, які можуть викликати звуковий сигнал. [2]

Щоб виключити зловживання при використанні карт доступу і посилення безпеки в найбільш важливих областях, є ряд функцій, які можна додати до СКУД:

1. виключити подвійний прохід, використовуючи одну картку;
2. зробити доступ до об'єкту при використанні одночасно двох карток (якщо потрібно дати доступ двом людям з певними повноваженнями);

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

3. встановити ліміт людей, які можуть знаходитись в приміщенні (тобто всім наступним бажаючим увійти буде заблоковано вхід);
4. встановити режим «примусового входу» (охорона отримає сигнал тривоги, якщо буде введено код, збільшений на одиницю. Корисно використовувати, якщо зловмисник примушує співробітника ввести код);
5. відображення тієї людини, яка пройшла через зчитувач (на екрані монітора охорона зможе побачити людину, яка пройшла й прийняти певні міри, якщо картка їй не належить);
6. встановлення лічильна на кожну ключ-картку (можна встановити певний ліміт доступу на кожну картку. Також можна встановити часовий проміжок, коли пропуск не буде діяти);
7. налаштування охоронної системи, якщо проник зловмисник до охоронної зони;

1.1.2 Типи систем контролю та управління доступом

Локальна система контролю доступом

Локальна система контролю доступом дозволяє обмежити доступ в одній конкретній точці (наприклад, двері на вулицю з чорного виходу або одиночний шлагбаум). Головна перевага такої системи контролю доступу - це простота в монтажі, обслуговуванні і експлуатації. При цьому запис нових ключів здійснюється безпосередньо у таку СКУД. Розробка проектної документації для локальної системи контролю доступу, як правило, не потрібно.

Таку систему не потрібно підключати до мережі Інтернет, оскільки там достатньо пам'яті контролера.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

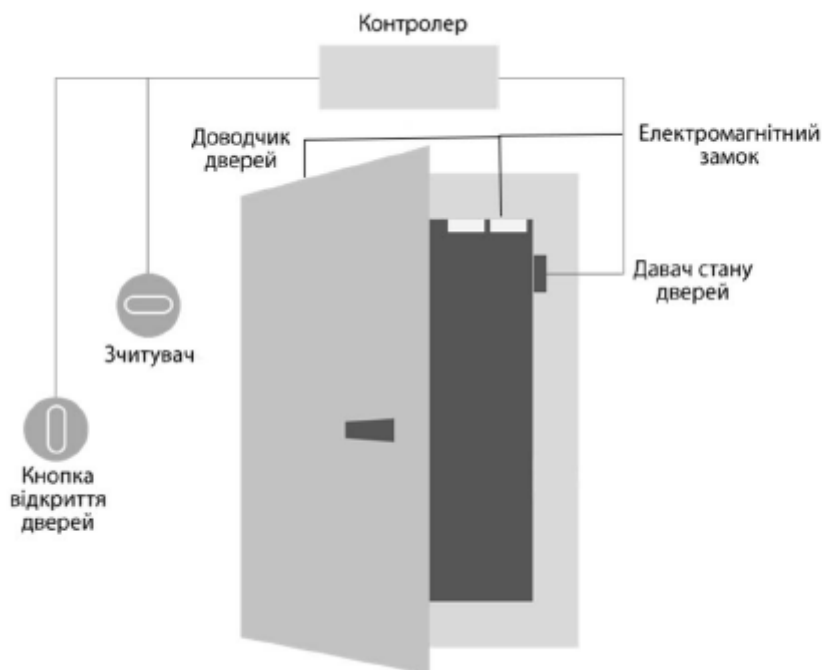


Рисунок 1.1 – Локальна система контролю доступом

Мережева система контролю доступом

Така система використовується в місцях, де потрібно контролювати не один вхід, а багато. Тому на кожний об'єкт охорони встановлюють локальну систему контролю доступом зі своїм контролером. Мережевий контролер доступом – це центральний елемент системи локальних. Всі контролери під'єднуються до серверу, тим самим утворюючи централізовану систему керування, де можна також налаштувати велику кількість параметрів.

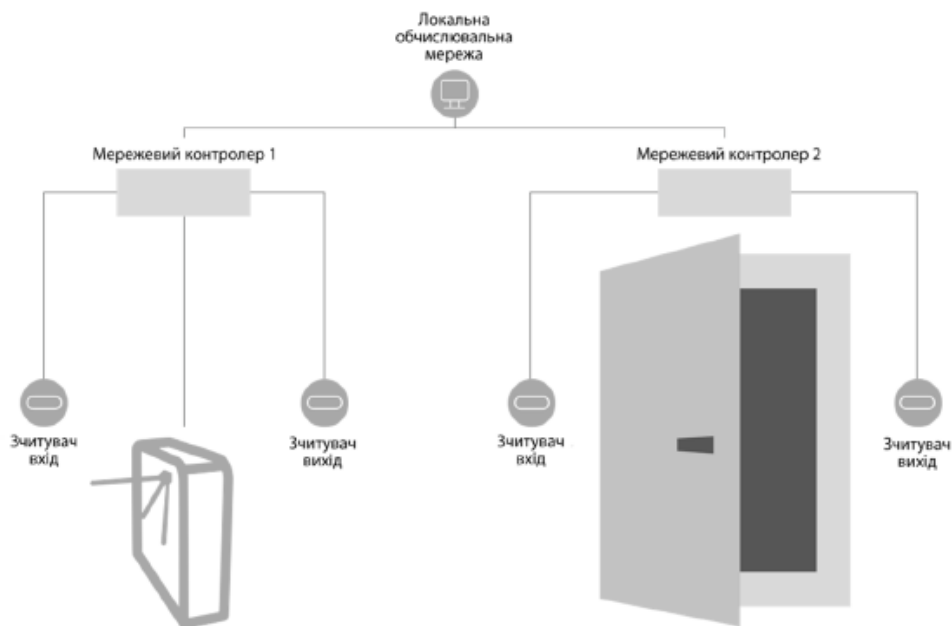


Рисунок 1.2 – Мережева система контролю доступом

Біометрична система контролю доступом

Біометричні системи контролю і управління доступом (СКУД) використовують для ідентифікації біометричні параметри, які є унікальними для кожної людини, такі як відбиток пальця або малюнок райдужної оболонки ока.[3]

Таке рішення запобігає несанкціоноване проникнення і додатково може виконувати обліково-організаційну функцію. Біометричні технології вважаються найбільш точними. Вони використовуються на підприємствах, в офісах і бізнес-центрах, складських комплексах, на автостоянках.[4]

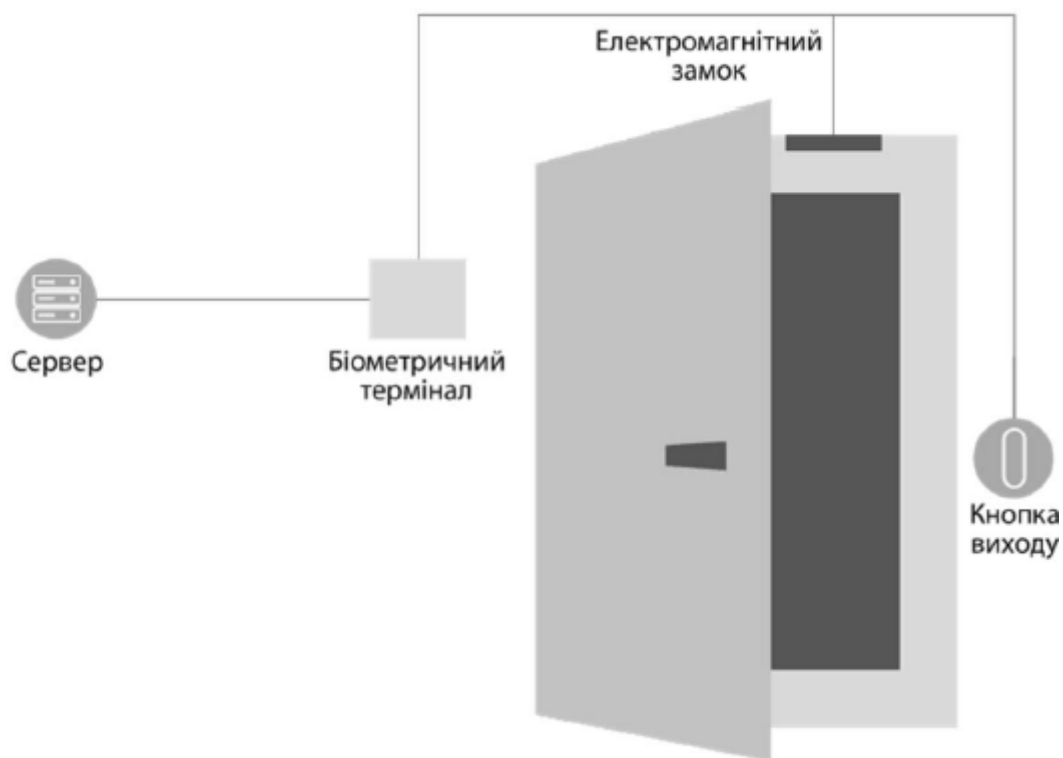


Рисунок 1.3 – Біометрична система контролю доступом

1.2 Використання концепції Інтернету Речей в СКУД

СКУД можна покращити, якщо використовувати концепцію Інтернет Речей. Це допоможе позбутись великої кількості проводів.

У системі IoT кожному замку, контролеру доступу, пристрою зчитування карток та інших, пов'язаних з ним, пристроїв присвоюється окрема IP-адреса, яка використовується для зв'язку між пристроями.

В одній будівлі всі ці інтелектуальні машини можна підключити до одного конкретного програмного забезпечення. Ці програми можуть бути налаштовані як автоматичного, так і для ручного керування різними замками та контролерами. Також можна налаштувати отримання сповіщень щодо безпеки на мобільне програмне забезпечення у режимі реального часу.

Кожен пристрій або машина налаштовані на певні умови роботи системи. Всі критерії налаштовуються за допомогою ядра програмного забезпечення, який використовується як контролер всієї системи. Дубльований контроль цієї системи також використовується як мобільний додаток на мобільних пристроях. За допомогою нього ви можете отримати статус системи доступу, а також можете видавати інструкції, використовуючи свій телефон. Будь-яка шкідлива діяльність у вашій системі доступу створює сповіщення та детальне повідомлення на вашому мобільному додатку або на основному контролері програмного забезпечення.

1.3 Концепція Інтернету речей.

Екосистема IoT складається з інтелектуальних пристроїв із підтримкою Інтернету, які використовують вбудовані процесори, сенсори та комунікаційне обладнання для збору, передачі та дії даних, які вони отримують у своїх середовищах. Прилади IoT поділяють дані датчиків, які вони збирають, підключившись до шлюзу IoT або іншого пристрою, де дані або відправляються до хмари для аналізу або локально аналізуються. Іноді ці пристрої спілкуються з іншими відповідними пристроями та діють на інформацію, яку вони отримують один від одного. Пристрої виконують більшу частину роботи без втручання людини, хоча люди можуть взаємодіяти з пристроями - наприклад, щоб налаштувати їх, дати їм інструкції або отримати доступ до даних.

Протоколи підключення, мереж і комунікацій, що використовуються з цими пристроями з підтримкою мережі, багато в чому залежать від конкретних програм IoT. [5]

Нове правило для майбутнього буде: "Все, що може бути пов'язане, буде пов'язане". Є багато прикладів того, як це може виглядати або яка потенційна цінність може бути. Скажіть, наприклад, ви йдете на зустріч; Ваш автомобіль міг би мати доступ до вашого календаря і вже знати найкращий маршрут. Якщо трафік важкий, ваш автомобіль може надіслати текст іншій стороні,

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

повідомивши, що ви запізнетесь. Що робити, якщо ваш будильник прокинеться о 6 ранку, а потім сповістить вашу кавоварку, щоб розпочати приготування кави для вас? Що робити, якщо ваша офісна техніка знала, коли вона не вистачає витрат і автоматично повторно замовила більше? Що робити, якщо носний пристрій, який ви використовували на робочому місці, може повідомити вам, коли і де ви були найбільш активними і продуктивними, і поділилися цією інформацією з іншими пристроями, які ви використовували під час роботи?

У більш широкому масштабі, IoT може застосовуватися до таких транспортних мереж, як «розумні міста», які можуть допомогти нам зменшити відходи та підвищити ефективність таких речей, як використання енергії; це допомагає нам зрозуміти і покращити, як ми працюємо і живемо. На рис.1.4 можна побачити, як може виглядати щось подібне.

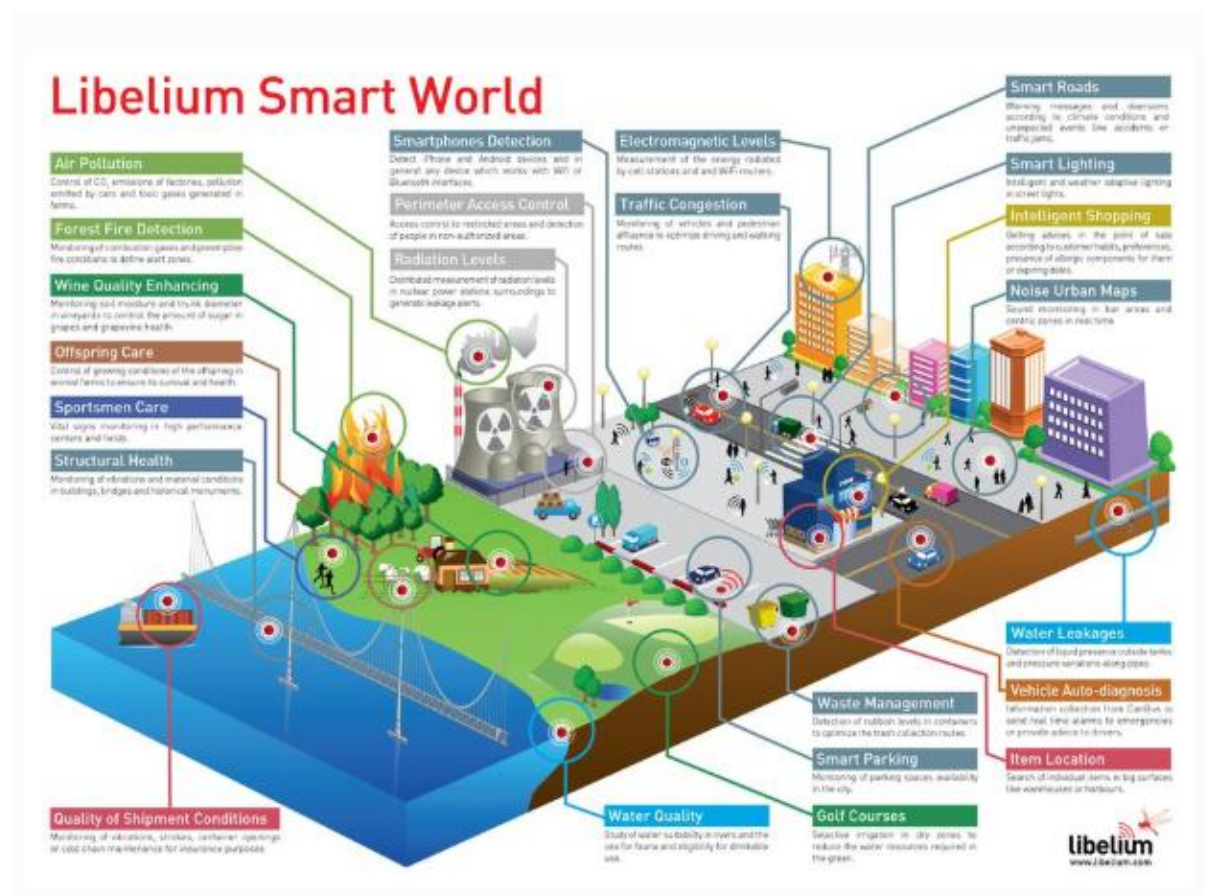


Рисунок 1.4 – Концепція розумного міста

Реальність така, що IoT дозволяє практично нескінченні можливості та зв'язки, які мають місце, багато з яких ми не можемо навіть подумати або повністю зрозуміти вплив на сьогоднішній день. Неважко зрозуміти, як і чому сьогодні IoT є такою гарячою темою; це, звичайно, відкриває двері для багатьох можливостей, а також для багатьох викликів. Безпека є великою проблемою, яка часто виникає. Як захистити інформацію, яка проходить через мільярди пристроїв, що пов'язані між собою? Чи зможе хтось зламати тостер і тим самим отримати доступ до всієї вашої мережі? IoT також може відкрити доступ до будь-якої компанії світу, що несе ще більшу загрозу безпеці. Тоді ми маємо питання конфіденційності та обміну даними. Ця тема зараз є дуже актуальною, оскільки кількість інформації збільшується, а тому з'являється інша проблема. Це величезна кількість даних, які всі ці пристрої збираються виробляти. Компаніям необхідно з'ясувати спосіб зберігання, відстежування, аналізування і осмислювання величезної кількості даних, які будуть генеруватися. [6]

Експерти з безпеки стверджують, що на цих ранніх стадіях робиться недостатньо для забезпечення безпеки та конфіденційності в IoT, а також для того, щоб довести їхню точку зору, вони зламали безліч пристроїв, від до, а також міських систем, таких як дорожні сигнали. Хакери більшою частиною не приділяють великої уваги IoT; ймовірно, не вистачає людей, які використовують підключені пристрої для нападу на них, щоб вони коштували зусиль, але, як тільки з'явиться фінансова вигода для злому розумних будинків, на нього буде працювати кіберзлочинник.

Отже, коротка відповідь «так», IoT є відносно безпечною: ви навряд чи зіткнетеся з серйозними втратами або збитками завдяки своєму розумному лічильнику, принаймні, це краще ніж ваш домашній комп'ютер. Однак гарантії немає, і поки що недостатньо зроблено для того, щоб гарантувати, що IoT не буде наступною великою ціллю. [7]

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Розробка та пояснення структурної схеми

Структура системи контролю живлення наведена на рисунку 2.1

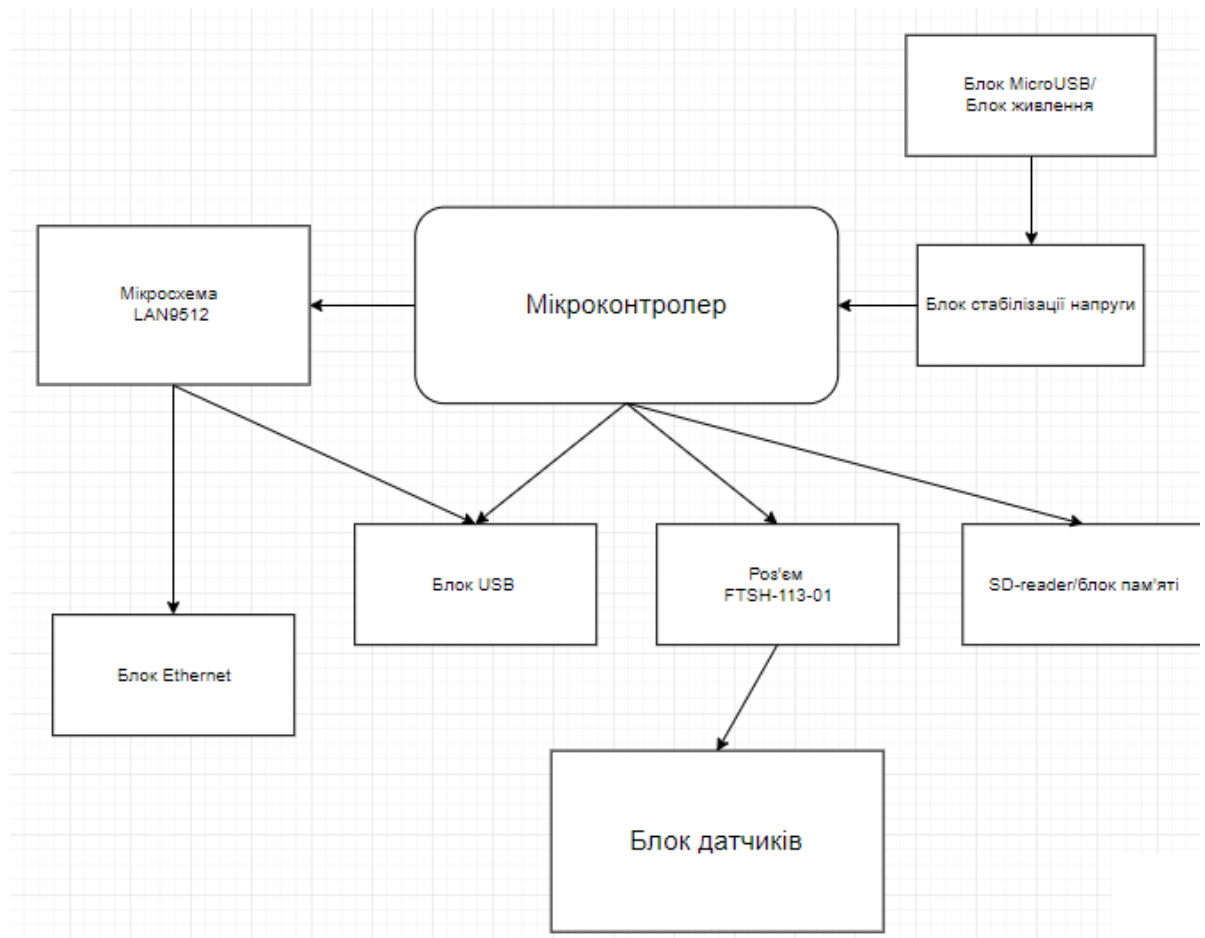


Рисунок 2.1 - Система контролю живлення.

Для виконання технічного завдання можна було б використовувати одноплатний комп'ютер Raspberry PI. Але в даному комп'ютері існує забагато лишніх блоків та елементів, що призводить до непотрібних нам витрат. Тому було вирішено розробити власну ДП на основі даного комп'ютера.

Основою даного пристрою є система-на-кристалі, Broadcom BCM2835 (лінійка BCM2708), яка включає процесорне ядро ARM11 з базовою частотою 700 МГц (можливий розгін до 1 ГГц) і графічне ядро Broadcom VideoCore IV. Через те, що використана нині злегка застаріла архітектура ARMv6, ряд дистрибутивів не підтримують даний процесор. До них відноситься, наприклад,

Ubuntu. GPU підтримує стандарти OpenGL ES 1.1/2.0, OpenVG 1.1, Open EGL, OpenMAX і здатний кодувати, декодувати і виводити Full HD-відео (1080p, 30 FPS, H.264 High-Profile). Надалі можна підключати веб-камеру, щоб розширити можливості пристрою.

Процесори ARM1176JZ-S і ARM1176JZF-S мають технологію ARM TrustZone і технологію ARM Jazelle, а також технологію ARM Intelligent Energy Manager (IEM). Вони реалізують архітектуру системи віртуальної пам'яті і мають інтерфейси AMBA 3 AXI. Вони підтримують набір інструкцій ARM і оригінальний набір інструкцій Thumb. Процесор ARM1176JZF-S має співпроцесор з плаваючою точкою

Дана мікросхема була обрана для використання, оскільки вона використовується в девборді, що дає змогу напряму зв'язатись з розробниками Raspberry Pi і замовити у них цю мікросхему.

Нажаль дана мікросхема не підтримує можливість використання WIFI-модулів та простих WIFI-антен. Саме тому було прийнято рішення використовувати USB WIFI-антени (MT-7601). Було розраховано, що дешевше використовувати їх, аніж змінювати мікросхему та використовувати модуль з антеною.

Чіп пам'яті виробництва Hynix напаяний прямо поверх основного чіпсета, так що збільшити RAM самостійно не вийде. Пам'ять тут загальна, тому можна самому обрати, скільки мегабайт віддати GPU. Також BCM2835 підтримує два відеовиходи – композитний RCA і HDMI 1.3a з підтримкою HDCP і протоколу CEC.

Вбудований пристрій для читання карт пам'яті гарантовано працює з більшістю SD-карт. Завантажуватися пристрій вміє тільки з карток SD. Тобто сама ОС може розташовуватися на USB-накопичувачі, але ось завантажувач завжди повинен бути на SD. Кнопки включення і скидання немає - пристрій сам включається при подачі живлення. Живлення приладу йде від порту micro-USB або з пари виділених для виводів GPIO (роз'єм FTSH-13-0). Для приладу рекомендується джерело на 5 В і 500-600 мА (розрахунки наведені в четвертому

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

розділі). Обов'язково треба сказати, що у схемі присутній блок стабілізації напруги. В нашій схемі частина елементів використовує напругу 3.3В, 2.5В та навіть 1.8В. Сам блок складається з трьох аналогових мікросхем. Щодо контролера Ethernet він теж підключається до шини USB. Індикація мінімальна – на платі присутньо п'ять світлодіодів. Три з них вказують на активність і режим роботи Ethernet, а ще два сигналізують про наявність живлення і нормальну роботу з SD-картою.

Роз'єм для Ethernet є альтернативою WIFI-антени. Також його використовують для налаштування пристрою. На певні налаштування та перше підключення пристрою до комп'ютера. Роз'єм був обраний RJLSE4238101T. Стандартний роз'єм, який був обраний у Raspberry PI.

Розглянемо низькорівневі інтерфейси, які дозволяють підключати до нашого приладу плати розширення, зовнішні контролери, датчики та інші аксесуари. Є колодка (FTSH-113-01) на 26 ліній введення-виведення загального призначення (GPIO, General Purpose Input/Output), з яких за фактом для управління є лише 17. Така ж колодка використовується в самій Raspberry PI. Було прийнято рішення залишити в самому приладі саме такий роз'єм на 26 виходів, оскільки проект не є фінальною версією і не можна бути впевненим, що вже використані всі датчики, які нам потрібні. Також можна впевнено сказати, що пристрій можна з легкістю налаштувати під бажання клієнта. На пінах же реалізовані інтерфейси UART, консольний порт, SPI і I²C.

2.2 Принцип роботи схеми

Основним датчиком нашого пристрою є RFID-522. Суть датчика в тому, що він працює за технологією NFC. Модуль побудований на однойменному контролері MFRC522 і може зчитувати і записувати інформацію з/на безконтактні радіо мітки RFID, які працюють на частоті 13,56 МГц.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Даний спосіб розпізнавання людини є одним за найпростіших і найдевшевших. Надалі можна подумати над більш безпечними видами ідентифікації людини.

Модуль працює на базі інтерфейсу SPI. На рис.2.2 показано підключення даного датчика до схеми приладу.

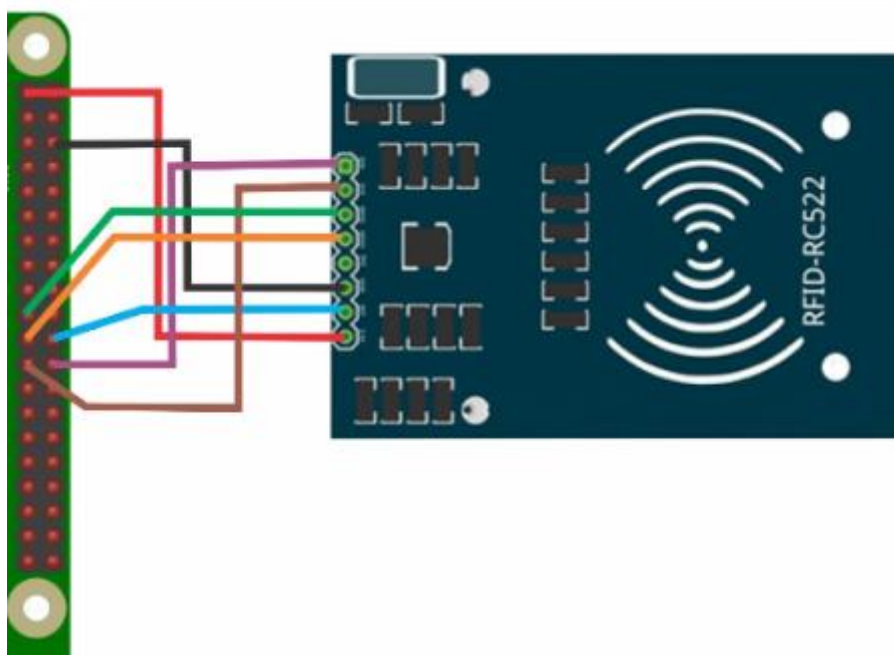


Рис. 2.2 – підключення датчика до пристрою

- SS підключається до Pin 24.
- SCK підключається до Pin 23.
- MOSI підключається до Pin 19.
- MISO підключається до Pin 21.
- GND підключається до Pin 6.
- RST підключається до Pin 22.
- VCC підключається до Pin 1.

Для передачі даних між ведучим (мікроконтролер) та відомим (датчик) в інтерфейсі SPI використовуються чотири сигнали:

- MOSI — вихід ведучого, вхід веденого (англ. Master Out Slave In).

Служить для передачі даних від ведучого пристрою до веденого.

- MISO — вхід ведучого, вихід веденого (англ. Master In Slave Out). Служить для передачі даних від веденого пристрою до ведучого.
- SCLK або SCK — послідовний тактовий сигнал (англ. Serial Clock). Служить для передачі тактового сигналу для ведених пристроїв.
- SS — сигнал початку/завершення сеансу зв'язку (вибору веденого пристрою для передачі/читання даних; англ. Chip Select, Slave Select). По завершенні обміну даних має бути знятий, що дозволить приймачу даних вийти з режиму читання/запису та перейти до режиму обробки даних. [8]

Частота проходження бітових інтервалів в лініях передачі даних визначається синхросигналом SCK, який генерує мікроконтролер, ведені пристрої використовують синхросигнал для визначення моментів зміни бітів на лінії даних, при цьому ведені пристрої ніяк не можуть впливати на частоту слідування бітових інтервалів. Як і в мікроконтролері, так і в датчику є лічильник імпульсів синхронізації (бітів). Лічильник в датчику дозволяє останньому визначити момент закінчення передачі пакета. Лічильник скидається при виключенні підсистеми SPI, така можливість завжди є в мікроконтролері. У датчику лічильник зазвичай скидається деактивацією інтерфейсного сигналу SS.

Так як дії пристроїв тактуються одним і тим самим сигналом, то до стабільності цього сигналу не пред'являється ніяких вимог, за винятком обмеження на тривалість напівперіодів (визначається максимальною робочою частотою найповільнішого з них). Це дозволяє використовувати SPI в системах з низькостабільною тактовою частотою, а також полегшує програмну емуляцію провідного пристрою.

Передача здійснюється пакетами. Довжина пакета, як правило, становить 1 байт (8 біт), при цьому відомі реалізації SPI з іншої довжиною пакета, наприклад, 4 біта. Мікроконтролер ініціює цикл зв'язку установкою низького рівня на виводі вибору того датчика (SS), з яким необхідно встановити з'єднання. При низькому рівні сигналу SS:

- схемотехніка датчика знаходиться в активному стані;
- пін MISO переводиться в режим «вихід»;
- тактовий сигнал SCK від мікроконтролера сприймається веденим і викликає зчитування на вході MOSI значень переданих від мікроконтролера бітів і сдвиг регістра датчику.

Дані, що підлягають передачі до пристроїв поміщають в регістри зсуву. Після цього мікроконтролер починає генерувати імпульси синхронізації на лінії SCK, що призводить до взаємного обміну даними. Передача даних здійснюється біт за бітом від мікроконтролера по лінії MOSI і від датчику по лінії MISO. Передача здійснюється, як правило, починаючи зі старших бітів. Після передачі кожного пакета даних мікроконтролер, з метою синхронізації датчику, може перевести лінію SS в високий стан.

Можливі чотири комбінації фази (CPHA) і полярності (CPOL) сигналу SCK по відношенню до сигналів даних. Режими роботи визначаються комбінацією біт CPHA і CPOL:

- CPOL = 0 - сигнал синхронізації починається з низького рівня;
- CPOL = 1 - сигнал синхронізації починається з високого рівня;
- CPHA = 0 - вибірка даних проводиться по передньому фронту сигналу синхронізації;
- CPHA = 1 - вибірка даних проводиться по задньому фронту сигналу синхронізації.

Для позначення режимів роботи інтерфейсу SPI прийнято наступну угоду:

- режим 0 (CPOL = 0, CPHA = 0);
- режим 1 (CPOL = 0, CPHA = 1);
- режим 2 (CPOL = 1, CPHA = 0);

- режим 3 (CPOL = 1, CPHA = 1).

На рис.2.3 показано часові діаграми роботи інтерфейсу SPI. При CPOL = 0: CPHA = 0 (червона вертикальна лінія) і CPHA = 1 (синя вертикальна лінія).

При CPOL = 1: CPHA = 1 (червона вертикальна лінія) і CPHA = 0 (синя вертикальна лінія).

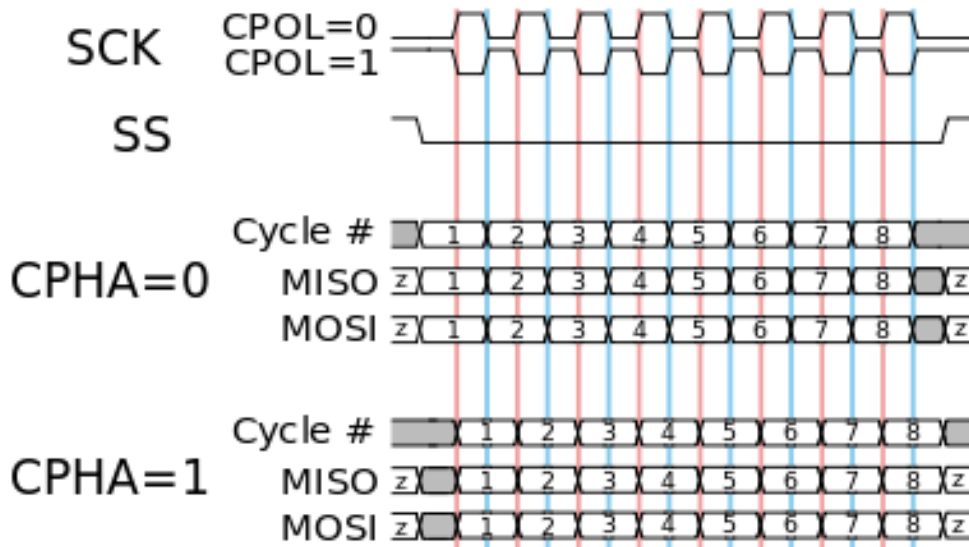


Рис.2.3 – часові діаграми SPI

В нас структурна схема типу «кільце». В даному випадку для активації одночасно декількох ведених пристроїв використовується один сигнал SS, а виходи даних всіх пристроїв з'єднані послідовно і утворюють замкнений ланцюг. При передачі пакета від мікроконтролера цей пакет отримує перший датчик, який, в свою чергу, транслює свій пакет наступному пристрою і так далі. Для того, щоб пакет від мікроконтролера досяг певного пристрою, мікроконтролер має відправити ще кілька пакетів. На рис.2.4 показано структурну схему типу «кільце». [8]

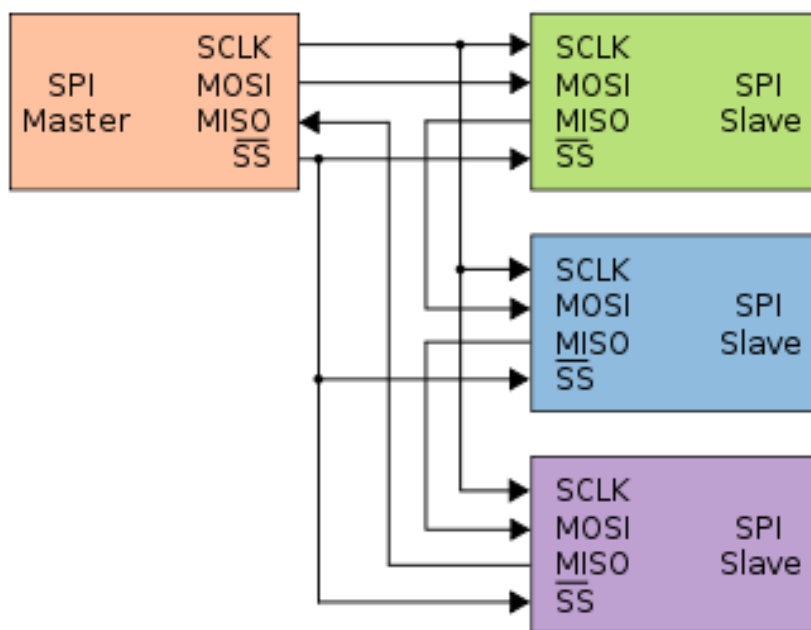


Рис.2.4 – структурна схема типу «кільце»

2.3 Розрахунок схеми електричної принципової

За основу пристрою контролю доступу було взято схему Raspberry PI. Саме тому більшість елементів було взята зі схеми девборду. Але частину з них потрібно обов’язково пояснити.

Електролітичні конденсатори

В схемі присутні електролітичні конденсатори, які потрібно розташувати біля роз’єму USB, microUSB та в блоці стабілізації напруги. Вони потрібні для фільтрування частоти завад, які можуть надходити до цих роз’ємів.

Розглянемо один з них C15, який розташований в блоці живлення. Ємність конденсатора розраховується за формулою (2.3.1):

$$C = \frac{I_{\text{нагрузки}}}{2\pi f U_{\text{жив}}} \quad (2.3.1)$$

$I_{\text{нагрузки}}$ – струм, який проходить, через конденсатор. В нашому випадку припустимо найгірший варіант, струм живлення, який рівний 584mA.

f – частота завад, 100 Гц

$U_{\text{жив}}$ – напруга живлення, 5 В

$$C = \frac{584 \cdot 10^{-3}}{2\pi \cdot 100 \cdot 5} = 186 \text{ мкФ}$$

Найближчий можливий номінал в даному випадку – 220 мкФ.

Резистори для індикації

Також потрібно розрахувати номінали резисторів які розташовані для регулювання струму, щоб світлодіод не згорів. Згідно даташиту SML-D12U1WT. Розрахунок резисторів R1-R5 за формулою 2.3.2

$$R = \frac{V_{dd} - V_{LED}}{I_{LED}}, \quad (2.3.2)$$

- V_{dd} – вихідна напруга стабілізатора (3.3 В);
- V_{LED} – напруга прямого зміщення світлодіоду (2.2 В, згідно даташиту SML-D12U1WT);
- I_{LED} – прямий струм світлодіоду (1.1 мА, обрано в розділі про обґрунтування вибору елементної бази).

$$R = \frac{V_{dd} - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{3.3 - 2.2}{0.0011} = 1.1 \text{ (кОм)}$$

Найближче більше за номіналом значення із стандартного ряду E24 (ГОСТ 28884-90) – 1 кОм.

Блок передачі даних.

Шина SPI працюватиме у швидкому режимі (400 кГц). Ємність лінії шини

$$C_{49} = 49 \text{ нФ}$$

Відомо, що час наростання від логічного 0 ($0.3V_{dd}$) до логічної 1 ($0.7V_{dd}$) для шини SPI в швидкому режимі може бути не більше 300 нс. Оберемо із запасом час наростання 90 нс. Час наростання до $0.7V_{dd}$ приблизно дорівнює

$$t_r = \tau = RC_{bus} \quad (2.3.3)$$

Тоді,

$$R = \frac{\tau}{C_{bus}} = \frac{80 \cdot 10^{-9} \text{ с}}{49 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}} = 1.63 \text{ кОм.}$$

Таким чином, номінальне значення опору R1, R3 – 1.8 кОм.

Висновок до розділу:

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

На основі технічного завдання була розроблена структурна схема. Вона складається з системи блоків. Основою нашої схеми є система-на-кристалі, Broadcom BCM2835, яка включає процесорне ядро ARM11.

До мікропроцесора під'єднані роз'єми USB, microUSB, Ethernet та роз'єм для SD картки. Також у схемі присутній блок стабілізації напруги.

До схеми є підключення датчиків, яке виконується на базі інтерфейсу SPI. Для передачі даних між мікропроцесором та датчиком використовуються чотири сигнали: MOSI, MISO, SCK та SS.

Оскільки за основу пристрою був взятий девборд Raspberry PI, то вибір елементів такий самий. Але було розраховано ємність електролітичних конденсаторів, які потрібні для частотної фільтрації завад. Було вирішено встановити конденсатори ємністю 220 мкФ, при найгіршому випадку протікання струму розміром 584 мА. Також було розраховано опір конденсаторів світлодіодів. Дані було взято з даташитів та пораховано опір, який рівний 1 кОм.

Також було розраховано опір резисторів, які встановлюються на шині передачі даних SPI. Було обрано резистори номіналом 1,8 кОм.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛА

3.1. Вибір типу та матеріалу друкованої плати.

Друкована плата — пластина, яка виконується з діелектрика (найчастіше використовують склотекстоліт, текстоліт, гетинакс, ситал тощо) на поверхні якої сформований шар (хоча б один) з провідними доріжками (також шар може бути розташований всередині пластини). На такі плати монтують електронні компоненти, які мають бути з'єднані між собою за допомогою провідних доріжок. Вся система тоді утворює певну схему, яку можна назвати змонтованою друкованою платою.[9]

Є різні класи друкованих плат:

- односторонні (одношарові) - ОДП,
- двосторонні (двошарові) – ДДП,
- багатошарові - БДП.

Односторонні плати використовуються для одностороннього монтажу елементів. Для створення односторонніх друкованих плат використовують шаруватий пресований або рельєфний литий текстоліт, де розташовують без металізації або з металізацією монтажні отвори. Такі плати прості по конструкції й дешеві у виготовленні. При неможливості стовідсоткового використання друкованих провідників застосовуються навісні перемички. [9]

Існує два різновиди двосторонніх друкованих плат: наскрізні отвори з металізацією або без. У ДДП елементи розміщуються з двох сторін плати, а тому цей вид плати повинен проводити струм з обох сторін, саме цей клас потребує високу щільність установки компонентів і формування трасування. Для поєднання обох шарів плати використовують металізовані перехідні отвори. Тут використовують як поверхневий монтаж компонентів (з двох сторін), так і монтаж компонентів з штировими або осьовими висновками. ДПП – найпоширеніший клас ДП.[9]

Багатошарові друковані плати (БДП) складаються з шарів які чергуються між собою. Це шари ізоляційного матеріалу та шари на яких

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

нанесений провідний матеріал (металізація). Шари поєднуються між собою клейовими прокладками, які створюються за шляхом пресування. Для поєднання металізовані шарів використовуються спеціальні об'ємні деталі, друковані елементи або хіміко-гальванічну металізацію. БДП характеризується кращою надійністю, стійкістю до зовнішніх впливів ніж ОПП та ДПП. Також розміри плат БДП менше ніж ОПП та ДПП. Але такі плати складніше виготовляти, вони потребують високої точності нанесення малюнків, існує необхідність ретельного контролю на всіх операціях, низька ремонтпридатність та висока вартість виготовлення.[9]

Згідно схеми електричної принципової було прийнято рішення виготовляти пристрій на основі 4-шарової друкованої плати. Це рішення було прийнято, оскільки:

- У схемі більшість елементів поверхневого монтажу. Для спрощення трасування та зменшення площі використаємо БДП.
- В нашій системі важливо максимально зменшити паразитні властивості ДП, оскільки це буде впливати на систему датчиків, а тому вигідно використовувати БДП
- Більша частина елементів знаходиться н верхньому шарі плати. На нижньому шарі розташовані ті, які не потрібні не верхньому. Також є шар я поділений на полігони різних значень напруги. Останній шар – земляний шар, який буде служити екраном для інших шарів.

Для виробництва даної ДП використовуються імпорتنі матеріали, які забезпечують високу надійність. Саме тому при виборі матеріалу звертається увага на такі критерії:

- високі електроізоляційні властивості;
- достатня стійкість до механічних впливів;
- стійкість до кліматичних умов.

Для даного пристрою нам задовольняє склотекстоліт FR4.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Параметри склотекстоліту FR4:

- максимальна робоча температура 140 °C;
- поверхневий опір 10^6 МОм;
- пробивна напруга 55 кВ;
- тангенс кута діелектричних втрат 0,021;
- міцність на прогин 550 МПа;
- гігроскопічність 0.2%;
- поздовжнє і поперечне викривлення не більше 0.18%;
- стійкість до розплавлення припою не менше 80 секунд;

Ми обираємо склотекстоліт FR4 для нашого приладу. Оскільки це один із найпопулярніших матеріалів для виготовлення друкованих плат та має один з найкращих показників діелектричної сталої. Ми також могли обрати FR5, але цей матеріал дорожче та використовується на більш високих температурах.

Виготовляти ДП будемо комбінованим позитивним методом, оскільки цей спосіб є надійним і відносно дешевим порівняно з хімічним та адитивним.

Товщина нашої плати - 1,5 мм. Цього буде достатньо для нашого приладу, оскільки нам не потрібна велика вібростійкість. Обираємо товщину мідної фольги. Є декілька варіантів які нам можуть підійти:

- 12 мкм
- 18 мкм
- 35 мкм

(всі наступні нам не підходять, оскільки буде вплив на роботу приладу). Ми обираємо 35 мкм, оскільки цей варіант підходить по товщині, і не матиме значного негативного впливу на наш прилад. Тобто наш кінцевий результат – FR-2-35-1.5.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

3.2. Вибір класу точності друкованої плати

Існує п'ять класів точності ДП (ГОСТ 23571-86). Вибір класу точності пов'язаний з виробництвом певного пристрою. Кожен клас точності має власні значення для таких параметрів:

- Ширина друкованого провідника
- Відстань між елементами
- Гарантований поясок
- Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини плати

Всі ці дані приведені у таблиці 3.1. У таблиці 3.2 приведені похибки виконання елементів ПМ.

Таблиця 3.1. Граничні значення основних параметрів ДМ

Параметер	Позначення	Клас точності			
		2	3	4	5
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{пр}^r$	0,45	0,25	0,15	0,10
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	l^r	0,45	0,25	0,15	0,10
Гарантований поясок, мм	$b_{по}$	0,20	0,10	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{дт}$	0,40	0,33	0,25	0,20

Таблиця 3.2. Допустимі похибки виконання елементів ПМ

Похибка	Позначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КО	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КО	δ_o	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КО	$\delta_{км}$	0.015(0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06

Друковані плати 3-го класу - найбільш поширені в виробництві, оскільки, з одного боку, забезпечують досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого - для їх виробництва потрібно рядове, хоча і спеціалізоване, обладнання.[10]

Друковані плати 4-го класу випускаються на високоточному обладнанні, але вимоги до матеріалів, обладнання та приміщень нижче, ніж для п'ятого класу. Виготовлення друкованих плат 5-го класу вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних (як правило, дорогих) матеріалів, безусадочної фотоплівки і навіть створення у виробничих приміщеннях «чистої зони» з термостатуванням. Таким вимогам відповідає далеко не кожне виробництво. Але друковану плату невеликого розміру можуть виконуватися по п'ятому класу на обладнанні, яке забезпечує одержання плат четвертого класу. Комплексно вирішити всі ці проблеми вдається тільки на реальному виробництві. [10]

Випуск друкованих плат 2-го класу здійснюється на рядовому обладнанні, а іноді навіть на обладнанні, не призначеному для виготовлення друкованих плат. Такі ДП з невисокими (і навіть з низькими) конструктивними параметрами призначені для недорогих пристроїв з малою щільністю монтажу. До цього класу належать друковані плати любительського і макетного рівня, часто одиничного або дрібносерійного виробництва. [10]

В результаті аналізу поставленої задачі та різних класів точності, було обрано 4-ий клас. Оскільки на нашій друкованій платі будуть використовуватись в більшій частині SMD компоненти, то 4-ий клас точності дає можливість проводити провідники між контактними майданчиками елементів. Тому для даного проекту можна використовувати провідники шириною не менше 0,15 мм. Також слід зазначити, що діаметр перехідних отворів повинен бути не менше ніж 0,5 мм.

3.3. Вибір методу виготовлення друкованої плати

Комбінований позитивний метод представляє собою виготовлення ДП на фольгованому діелектрику з металізацією отворів, при якому спочатку виконується свердлення отворів і металізація, а потім травлення міді з пробільних місць.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

При нанесенні рисунку схеми пробільні місця покриваються захисним шаром. Після свердління і хімічного міднення отворів здійснюється гальванічне осадження міді на провідники, контактні площадки та в отвори, потім наноситься шар металу (срібло, сплав олово-свинець, сплав Розе і т.п.), після чого видаляється захисний шар із пробільних місць і стравлюється фольга.

Метод дозволяє виготовляти ДП із підвищеною щільністю монтажу, високими електричними параметрами і високою міцністю зчеплення провідників.

Рекомендується для виготовлення ДП для апаратури, що працює в жорстких умовах експлуатації. Метод є кращим для нових розробок.

Для отримання захисного рельєфу використовується сухий плівковий фоторезист (СПФ) товщиною 15 ... 50 мкм.

3.4. Розміщення компонентів та трасування ДП

Більшу частину вибраної схеми займають інтегральні мікросхеми, роз'єми та аналогові мікросхеми. Тому щоб полегшити процедуру розташування елементів на ДП потрібно розташувати саме ці елементи. Тим самим ми вирішуємо проблему мінімізації кількості найдовших з'єднань, а також розташовуємо якомога найближче потрібні нам елементи. Саме ця процедура полегшить нам трасування та виготовлення друкованого вузлу. Всіма іншими елементами можна знехтувати, оскільки вони мають малі розміри, а також не велику кількість з'єднань, порівняно з іншими компонентами. Тому викидаємо резистори, конденсатори, транзистори і т.д.

Ми маємо десять потрібних нам елементів:

$X = \{XP1, XS1, XS2, XS3, XS4, DD1, DD2, DA1, DA2, DA3\};$

Та множину посадкових місць:

$P = \{P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10\};$

В нас є десять посадкових місць, які будуть розташовані так, як вказано на малюнку.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

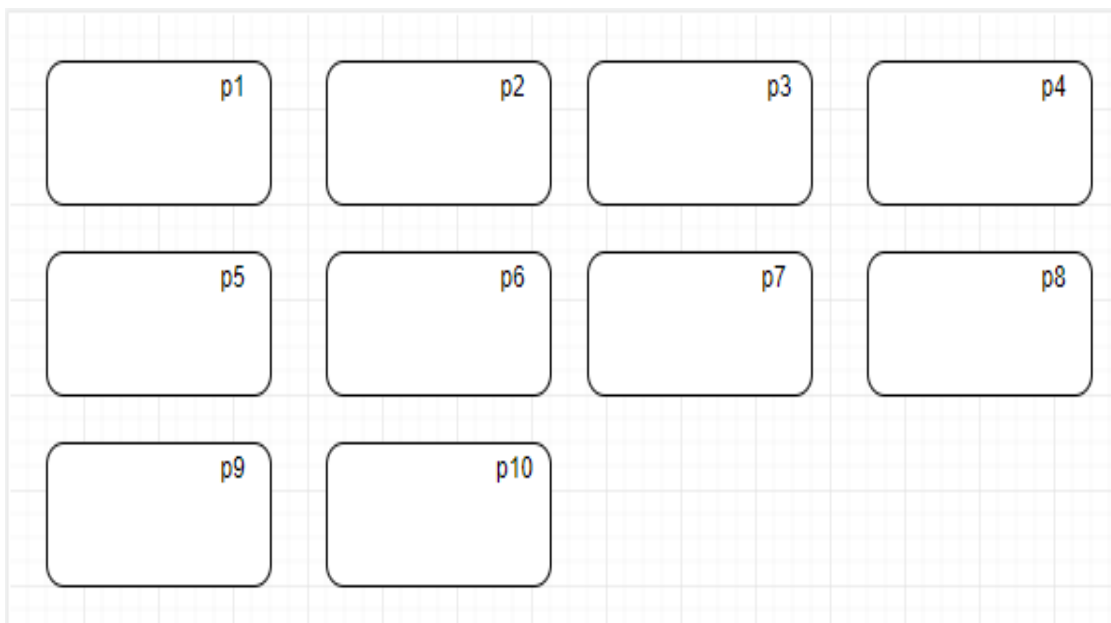


Рис.3.2. Посадкові місця верхньої сторони плати.

Для початку ми можемо розташувати роз'єми. Зазвичай вони розміщуються по краях друкованих вузлів. Тому першим ділом розташуємо їх так:

- XS1 у P5
- XP1 у P2
- XS2 у P3
- XS3 у P4
- XS4 у P8

Далі розглянемо кожний елемент окремо. Мікросхема DD2 має найбільшу кількість зв'язків з XS3 та XS4, тому потрібно розташувати її якомога найближче до цих роз'ємів. Розташуємо DD2 у посадковий майданчик P7.

Далі розглянемо мікросхему DD1. Вона має найбільшу кількість зв'язків з мікросхемою DD2 та обов'язково повинна бути розташована біля роз'ємів XS1, XS2 та XP1. Саме тому її слід розмістити у посадковий майданчик P6.

В нас залишились аналогові мікросхеми DA1, DA2, DA3. Вони потрібні для стабілізації напруги живлення. XS1 – роз'єм для живлення. Саме тому потрібно розташувати аналогові мікросхеми якомога найближче до цього

роз'єму, а також до мікросхеми DD1. Тому ідеальний варіант для розташування такий:

DA1 у P1

DA2 у P9

DA3 у P10

Результат розташування наведений на Рис.3.2.

Також треба зазначити, що у схемі використовується велика кількість фільтрувальних конденсаторів. Саме тому їх обов'язково потрібно розміщати якомога ближче до мікросхем. Також у схемі присутні велико-габаритні електролітичні конденсатори, які грають роль фільтрів від завад для USB-роз'ємів.

Усі інші малогабаритні елементи розміщуються на вільних місцях друкованої плати.

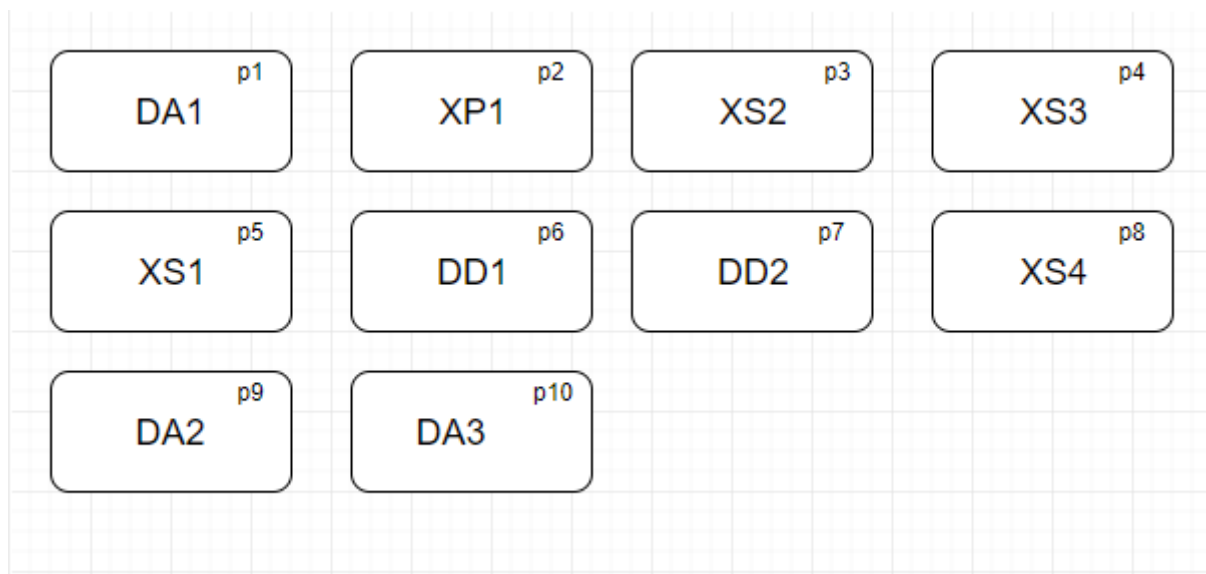


Рис.3.2.Результат розташування елементів у монтажному просторі.

Даний спосіб розташування дає змогу мінімізувати сумарну довжину провідників та збільшити надійність отриманої схеми.

Трасування друкованої плати проводилось автоматично за допомогою САПР Altium Designer.

3.5. Проектування друкованої плати у середовищі Altium Designer.

Altium Designer — комплексна система автоматизованого проектування (САПР) радіоелектронних засобів (РЕЗ), розроблена австралійською компанією Altium Limited.

Дозволяє проектувати друковані плати у тривимірному вигляді, а також обмінюватись інформацією з механічними САП (SolidWorks, AutoCad та ін.).

Під час створення друкованого вузлу розглянуто та виконані такі завдання:

- самостійне створення бібліотеки компонентів (додавання УГП і посадкового місця);
- створення принципової електричної схеми;
- трасування друкованої плати (ручне або автотрасування).

Створення проекту друкованої плати

PCB Project – це набір документів, який включає в себе всі види файлів, які знадобляться для створення власного проекту. Також Altium Designer – має цілий набір різних програм, який і дозволяє редагувати будь-який файл проекту.

Створення бібліотеки компонентів

Під час роботи мною були створені бібліотеки компонентів. УГП і посадкові місця компонентів формуються у редакторі бібліотек (Library Editor). В середовищі AD є чотири типи бібліотек: моделей, символів, баз даних, інтегровані бібліотеки.

Створення розводки друкованої плати.

Створення файлу плати може бути виконано вручну, а також за допомогою майстра PCB Board Wizard, котрий по етапам питає інформацію о ДП, котра потім виражається у виді конструктивних параметрів і правил проектування. Під розробкою конструктивних параметрів розуміється етап розробки ДП від формування файлу плати до розміщення компонентів, котрі складаються з чотирьох кроків: формування контуру ДП, описання стека слоїв, установки кріпильних отворів і визначення заборонених зон для трасування.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

В AD задача інтерактивного трасування вирішується інструментом автотрасування, котрий знаходиться в меню AutoRoute. У моєму варіанті роботи автотрасування дуже допомогло, оскільки AD виконало цей процес майже самостійно. А після завершення роботи, довелось трохи підкоректувати.

Висновки до розділу:

В даному розділі було обрано тип друкованої плати. Проаналізувавши п'ять класів друкованої плати, було обрано четвертий. Це найбільша точність, яка потрібна для створення даного проекту. Також вибір був зумовлений тим, що для цього класу точності не потрібне надточне обладнання та дорогі матеріали.

Також був обраний матеріал для друкованої плати. В нашому випадку було проаналізовано характеристики потрібної нам плати. Тому було вибрано матеріал FR4-2-35-1.5. Він є досить розповсюдженим та є доцільним для обраного пристрою. Також було вирішено, що плата буде виготовлена комбінованим позитивним методом.

Плата буде мати 4 шари. Деякі елементи будуть розташовані на нижньому шарі плати. Другий шар виділений для загальної землі пристрою. Третій шар виділений для провідників живлення. На верхньому шарі плати буде розташовано більша кількість елементів. Всі роз'єми були розміщені на краях плати, мікросхеми, які мають з ними зв'язок, у середині. Також у схемі присутня велика кількість фільтрувальних конденсаторів, тож було зазначено, що вони повинні бути розташовані біля потрібних нам елементів.

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ

4.1. Конструкторсько-технологічний розрахунок елементів ДМ

Формули взяті з ГОСТ 23751-86.

4.1.1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та землі.

Нам треба розрахувати мінімальну ширину друкованого провідника ланцюгів живлення і землі за формулою 4.1:

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} * t_{пров}} \quad (4.1)$$

де I_{max} – максимально можливий струм у ланцюгу, $j_{доп}$ – допустима щільність струму друкованого провідника (в нашому випадку міді), що виготовлений комбінованим позитивним методом, $j_{доп}=4.8 \text{ А/мм}^2$, $t_{пров}$ – товщина друкованого провідника, яку можна знайти за формулою 4.2:

$$t_{пров} = h_{\phi} + h_{ГМ} + h_{ХМ} \quad (4.2)$$

де h_{ϕ} – товщина фольги матеріалу $h_{\phi}=0.035 \text{ мм}$, $h_{ГМ}$ – товщина гальванічно осадженої міді $h_{ГМ}=0.055 \text{ мм}$, $h_{ХМ}$ – товщина шару хімічно осадженої міді $h_{ХМ}=0.0065 \text{ мм}$. В нашому випадку:

$$t_{пров} = h_{\phi} + h_{ГМ} + h_{ХМ} = 0.035 + 0.055 + 0.0065 = 0.0965 \text{ мм}$$

Параметр I_{max} визначається як сума максимальних струмів, що споживають активні елементи схеми. В даному випадку максимальний струм визначають мікросхеми і він дорівнює 584 мА (Табл.4.1).

Таблиця 4.1. Струми, що споживаються мікросхемами

	$I_{спож(ма)}$ х)/на канал	К-сть мікросхем	I спож
BCM2835	495 мА	1	2 ,7 мА
LAN9512	74 мА	1	1 00 мА
NCP1117	5 мА	3	1 5 мА

		$I_{max},$	5
		мА	84

Значення споживаних струмів для мікросхем бралися близькими до максимальних, щоб врахувати найгірший випадок функціонування схеми.

Отже, мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення і землі:

$$b_{minI} = \frac{I_{max}}{j_{доп} * t_{пров}} = \frac{0.584}{4.8 * 0.0965} = 1.26 \text{ мм.}$$

Найближчим до цього значення із номінального ряду є ширина провідника 1,3 мм. Тому на друкованій платі провідники землі і живлення будемо робити шириною, яка вказана у номінальному ряді. Це дасть нам запас для максимального струму, який може протікати.

4.1.2. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому визначається виразом 4.3:

$$b_{minU} = \frac{\rho * I_{max} * L_{пров}}{t_{пров} * U_{доп}} \quad (4.3)$$

де ρ - питомий опір провідника $\rho=0.0175 \text{ Ом*мм}^2/\text{м}$, $L_{пров}$ – довжина найдовшого друкованого провідника на друкованій платі $L_{пров}=0.228 \text{ м}$, $U_{доп}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику $U_{доп}=0.05 * U_{жив}=0.05 * 3.3 \text{ В}=0.165 \text{ В}$ (значення $U_{жив}$ вибираємо рівним 3,3 В – значення на найдовшому провіднику в схемі), $t_{пров}$ – товщина друкованого провідника ($t_{пров}=0.0965 \text{ мм}$), I_{max} – максимально можливий струм у ланцюгу ($I_{max}=584 * 10^{-3} \text{ А}$).

Отже,

$$b_{minU} = \frac{\rho * I_{max} * L_{пров}}{t_{пров} * U_{доп}} = \frac{0.0175 * 584 * 10^{-3} * 0.228}{0.0965 * 0.165} = 0.146 \text{ мм.}$$

Мінімальна допустима ширина задовольняє, оскільки вона менше 1,30 мм.

4.1.3. Визначення номінального діаметру монтажного отвору

Визначимо діаметри монтажних отворів для USB-роз'єму (єдиний елемент, який має монтажні отвори).

Цю величину візьмемо із креслень на USB-роз'єм 72309-8034BLF. Діаметр монтажного отвору рівний 0.9 мм. Вони також задовольняють формулі 4.4:

$$d \geq d_{\text{вв}} + \Delta d_{\text{мо}} + r \quad (4.4)$$

де $d_{\text{вв}}$ - діаметр виводу елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору (0.7 мм для 72309-8034BLF);

$\Delta d_{\text{мо}}$ - нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО, $\Delta d_{\text{мо}}=0.1$ мм;

r - різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента $r=0.1$ мм.

Отже, маємо:

$$d_{72309-8034BLF}=0.7+0.1+0.2=1 \text{ мм};$$

Отже діаметр монтажних отворів вибрані правильно.

4.1.4. Визначення діаметра контактної площини.

Діаметр контактної площини визначається за формулою 4.5:

$$D_{\text{min}} = D_{\text{min1}} + 1.5h_{\text{ф}} + 0.03, \quad (4.5)$$

де D_{min1} – мінімальний ефективний діаметр контактної майданчика;

$h_{\text{ф}}$ – товщина мідної фольги ($h_{\text{ф}}=0.035$ мм).

$$D_{\text{min1}} = 2 \left(b_{\text{по}} + \frac{d_{\text{max}}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}} \right), \quad (4.6)$$

де d_{max} – максимальний діаметр просвердленого отвору в ДП,

$b_{\text{по}}=0.05$ мм – ширина пояса КМ 4-го класу точності,

$\delta_o=0.07$ мм – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС 4-го класу точності,

$\delta_{\text{км}}=0.05$ мм - похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС 4-го класу точності.

Максимальний можливий діаметр просвердленого отвору ДП (4.7):

$$d_{\text{max}} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) \quad (4.7)$$

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

де d – діаметр просвердленого отвору;

Δd - відхилення від номінального діаметру отвору, $\Delta d = 0.05$ мм;

Отже, проведемо розрахунки за формулами 4.5-4.7 для USB:

$$d_{max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15) = 0.9 + 0.1 + 0.15 = 1.15 \text{ мм};$$

$$D_{min1} = 2 \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right) = 2 \left(0.05 + \frac{1.15}{2} + 0.07 + 0.05 \right) = 1.49 \text{ мм};$$

$$D_{min} = D_{min1} + 1.5h_{\phi} + 0.03 = 1.49 + 1.5 * 0.035 + 0.03 = 1.5825 \text{ мм};$$

Максимальний діаметр отвору для USB:

$$D_{max} = D_{min} + 0.02 = 1.5825 + 0.02 = 1.6025 \text{ мм} \quad (4.8)$$

4.1.5. Визначення мінімальної ширини провідника.

Мінімальна ширина провідника визначається за формулою 4.9:

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1.5 * h_{\phi} + 0.03; \quad (4.9)$$

де $b_{пр}^r$ – мінімальна ширина провідника для 4-го класу точності = 0.15 мм для згідно таблиці 3.1.

Отже:

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1.5 * h_{\phi} + 0.03 = 0.15 + 1.5 * 0.035 + 0.03 = 0.23 \text{ мм}.$$

Максимальна ширина провідника:

$$b_{max} = b_{min} + 0.02, \quad (4.10)$$

$$b_{max} = b_{min} + 0.02 = 0.23 + 0.02 = 0.25 \text{ мм}.$$

4.1.6. Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площиною.

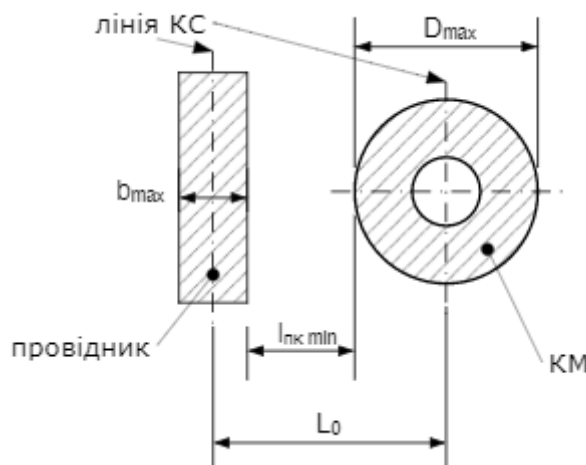


Рис. 4.1 – мінімальна відстань між провідником і контактною площиною.

Мінімальна відстань між провідником та контактною площиною визначається за формулою 4.11:

$$l_{\text{ПКМ min}} = L_0 - \left(\frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{КМ}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{СП}} \right), \quad (4.11)$$

де L_0 – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, $L_0 = 1.25$ мм (найгірший випадок).

D_{max} - максимальний діаметр КМ;

b_{max} - максимальна ширина провідника;

$\delta_{\text{КМ}}$ - похибка розташування центра КМ відносно вузла КС, $\delta_{\text{КМ}} = 0.05$;

$\delta_{\text{СП}}$ - похибка, яка враховує зміщення провідника, $\delta_{\text{СП}} = 0.05$ мм;

Отже, розрахуємо мінімальну відстань між провідником і контактною площиною за формулою 4.11:

$$\begin{aligned} l_{\text{ПКМ min}} &= L_0 - \left(\frac{D_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{КМ}} + \frac{b_{\text{max}}}{2} + \delta_{\text{СП}} \right) = \\ &= 1.25 - \left(\frac{1.6025}{2} + 0.05 + \frac{0.25}{2} + 0.05 \right) = 0.224 \text{ мм.} \end{aligned}$$

4.1.7. Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників).

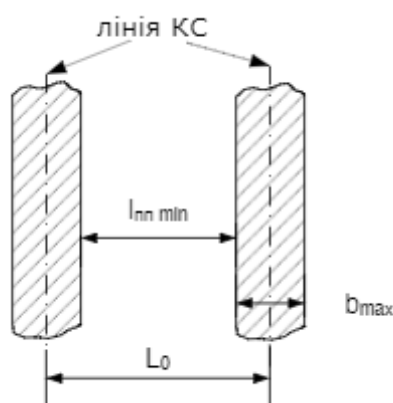


Рис. 4.2 – мінімальна відстань між двома сусідніми провідниками

Мінімальна відстань між двома сусідніми провідниками (між краями провідників) розраховується за формулою 4.12:

$$l_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{сп}}), \quad (4.12)$$

$$l_{\text{ПП min}} = L_0 - (b_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{сп}}) = 1.25 - (0.25 + 2 \cdot 0.05) = 0.9 \text{ мм.}$$

4.1.8. Визначення мінімальної відстані між двох контактних площин.

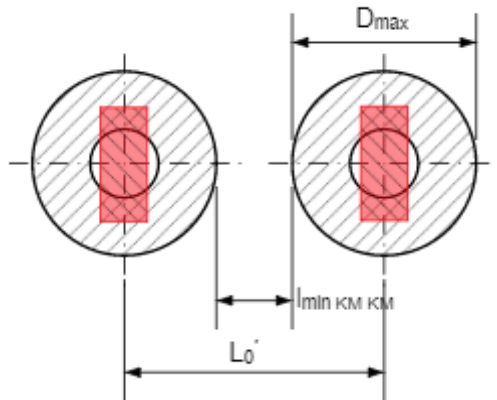


Рис. 4.3 – мінімальна відстань між двох контактних площин.

Мінімальна відстань між двома контактними площинами розраховується за формулою 4.13:

$$l_{\text{min КМ КМ}} = L_{01} - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}), \quad (4.13)$$

де L_{01} - відстань між центрами сусідніх контактних площин, $L_{01} = 2,5$ мм.

$$l_{\text{min КМ КМ}} = L_{01} - (D_{\text{max}} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}) = 2.5 - (1.6025 + 2 \cdot 0.05) = 0.8 \text{ мм.}$$

Отримане значення задовольняє четвертому класу точності.

4.2. Електричний розрахунок друкованої плати.

Оскільки ми зменшуємо щільність розташування провідників та їх розміри, з'являються ємнісні та індуктивні зв'язки. Це може призвести до помилкового спрацювання дискретних елементів. Тому потрібно враховувати ці значення й слідкувати, щоб вони не перевищували допустимої межі.

Також ємності та індуктивності сигнального зв'язку впливають на затримку вмикання схем. Струм, опір навантаження та опір сигнального провідника впливають на час затримки.

Подальші розрахунки виконуються за умов, щ плата виготовлена комбінованим методом за ГОСТ Р50621-93.

4.2.1. Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику.

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається за формулою 4.14:

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (4.14)$$

де ρ - питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП, $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$,

$l_{\text{пр}}$ - максимальна довжин друкованого провідника, $l_{\text{пр}} = 0.228 \text{ м}$,

$t_{\text{пр}}$ - товщина провідника, $t_{\text{пр}} = 0,0965 \text{ мм}$,

I_{max} - струм в провіднику, $I_{\text{max}} = 584 * 10^{-3} \text{ А}$ (оскільки це провідник живлення, то через нього течуть всі струми що споживаються схемою),

$b_{\text{пр}}$ - ширина провідника живлення, $b_{\text{пр}} = 1,3 \text{ мм}$.

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho * I_{\text{max}} * l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} * t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 * 584 * 10^{-3} * 0,228}{1,3 * 0,0965} = 18,57 \text{ мВ},$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення усередині схеми, що становить 165 мВ при напрузі живлення рівній 3.3 В. Отже, ширина провідника повністю задовольняє вимогам максимально допустимого падіння напруги на одиницю довжини провідника.

4.2.2. Визначення потужності втрат друкованої плати.

Наша друкована плата складається з чотирьох шарів. Ємність друкованої плати буде існувати лише між сусідніми шарами, оскільки шар живлення та землі знаходяться між двома іншими.

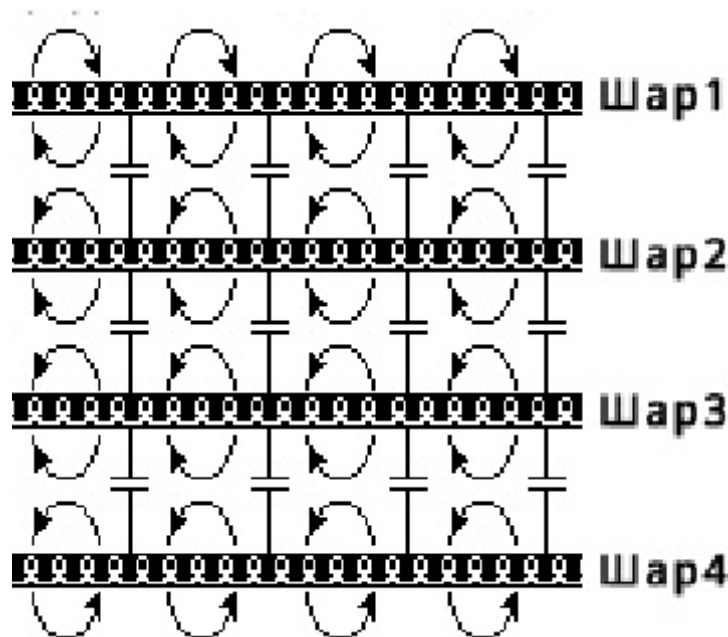


Рис.4.4. Взаємозв'язки між паралельними провідними шарами.

Виходячи із вищесказаного, необхідно для кожної пари сусідніх шарів рахувати ємність окремо.

Потужність втрат можна визначити за формулою 4.15:

$$P_{\text{пот}} = 2\pi f * C * E_n^2 * tg\sigma, \quad (4.15)$$

де $f = 1$ Гц, тому що розрахунок ведеться на постійному струмі (основна частина схеми працює саме на постійному струмі, інші елементи значного внеску не роблять, тому можна знехтувати змінним струмом);

$tg\sigma$ – тангенс кута діелектричних втрат;

E_n – напруга живлення, $E_n = 5$ В (вибрана з міркувань того, що решта напруг живлення, що присутні в схемі, є менші за це значення, тому вибір для розрахунків максимального значення дасть найгірший можливий випадок);

C – ємність друкованої плати, що розраховується за формулою 4.16:

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \quad (4.16)$$

де ε - діелектрична проникність матеріалу плати, $\varepsilon = 4,5$ для FR4 (не враховуємо вплив покриття плати лаком на діелектричну проникність, оскільки ємність друкованої плати апроксимується моделлю плоского конденсатора, а тому діелектриком буде лише матеріал ДП);

S_m – площа металізації;

h - товщина друкованої плати.

Порахуємо ємність ДП для кожної пари сусідніх шарів.

Ємність між шаром 1 і шаром 2:

площа металізації $S_{m1-2} = 13027,5 \text{ мм}^2$, товщина друкованої плати між першим і другим шарами $h = 0,45 \text{ мм}$.

$$C_{1-2} = \frac{0,009 \cdot \epsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 13027,5}{0,45} = 1.17 \text{ нФ};$$

ємність між шаром 2 і шаром 3:

площа металізації $S_{m2-3} = 23705,6 \text{ мм}^2$, товщина друкованої плати між шаром 2 і шаром 3 - $h = 0,45 \text{ мм}$.

$$C_{2-3} = \frac{0,009 \cdot \epsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 23705,6}{0,45} = 2.13 \text{ нФ};$$

ємність між шаром 3 і шаром 4:

площа металізації $S_{m3-4} = 12118,5 \text{ мм}^2$, товщина друкованої плати між шаром 3 і шаром 4 - $h = 0,45 \text{ мм}$.

$$C_{3-4} = \frac{0,009 \cdot \epsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 12118,5}{0,45} = 1.1 \text{ нФ}.$$

Сумарна ємність для розрахунку потужності втрат ДП буде розраховуватися як послідовна комбінація ємностей між кожними сусідніми шарами за формулою 4.17:

$$C_{tot} = \frac{C_{1-2} \cdot C_{2-3} \cdot C_{3-4}}{C_{1-2} \cdot C_{3-4} + C_{1-2} \cdot C_{2-3} + C_{2-3} \cdot C_{3-4}}, \quad (4.17)$$

де C_{tot} – сумарна ємність.

$$C_{tot} = \frac{1.17 \cdot 2.13 \cdot 1.1}{(1.17 \cdot 2.13) + (2.13 \cdot 1.1) + (1.17 \cdot 1.1)} = \frac{2.74131}{6.1221} = 447,71 \text{ пФ}.$$

ДП покривається шаром лаку, тому необхідно також враховувати вплив шару лаку на $tg\sigma$ матеріалу ДП. У цьому випадку $tg\sigma$ потрібно розраховувати за формулою 4.18:

$$tg\sigma = \frac{\epsilon_{лаку} \cdot h_{матеріал_дп} \cdot tg\sigma_{матеріал_дп} + 2 \cdot \epsilon_{матеріал_дп} \cdot h_{шар\ лаку} \cdot tg\sigma_{лаку}}{2 \cdot \epsilon_{матеріал_дп} \cdot h_{шар\ лаку} + \epsilon_{лаку} \cdot h_{матеріал_дп}}, \quad (4.18)$$

де: $h_{шар\ лаку}$ – товщина одного шару лаку ($5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$),

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$\varepsilon_{\text{лаку}}$ – діелектрична проникність лаку УР-231, $\varepsilon_{\text{лаку}} = 4,5$,

$h_{\text{матеріал_дп}}$ – товщина плати, $h_{\text{матеріал_дп}} = 0,0015$ м,

$tg\sigma_{\text{матеріал_дп}}$ – тангенс кута діелектричних втрат матеріалу плати,
 $tg\sigma_{\text{матеріал_дп}} = 0,021$,

$\varepsilon_{\text{матеріал_дп}}$ – діелектрична проникність матеріалу плати, $\varepsilon_{\text{матеріал_дп}} = 4,5$,

$tg\sigma_{\text{лаку}}$ – тангенс кута діелектричних втрат лаку, $tg\sigma_{\text{лаку}} = 0,030$.

$$tg\sigma = \frac{\varepsilon_{\text{лаку}} * h_{\text{матеріал_дп}} * tg\sigma_{\text{матеріал_дп}} + 2 * \varepsilon_{\text{матеріал_дп}} * h_{\text{шар лаку}} * tg\sigma_{\text{лаку}}}{2 * \varepsilon_{\text{матеріал_дп}} * h_{\text{шар лаку}} + \varepsilon_{\text{лаку}} * h_{\text{матеріал_дп}}} =$$
$$= \frac{4,5 * 0,0015 * 0,021 + 2 * 4,5 * 0,000005 * 0,03}{2 * 4,5 * 0,000005 + 4,5 * 0,0015} = 0,02106$$

Потужність втрат друкованої плати буде дорівнювати:

$$P_{\text{пот}} = 2\pi f * C_{\text{tot}} * E_n^2 * tg\sigma = 2 * 3,14 * 1 * 447,71 * 10^{-12} * 5^2 * 0,02106 =$$
$$= 1,48 \text{ нВт.}$$

4.2.3. Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину

Обрахуємо за формулою 4.19 :

$$C = 0.12 * \varepsilon * l_{\text{пр}} \left(\lg \frac{2S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right)^{-1}, \quad (4.19)$$

де: S - відстань між двома паралельними провідниками, ($S = 0.1$ мм),

$b_{\text{пр}}$ – ширина друкованого провідника, ($b_{\text{пр}} = 0.1$ мм),

$t_{\text{пр}}$ – товщина друкованого провідника, ($t_{\text{пр}} = 0.0965$ мм),

$l_{\text{пр}}$ – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників,
($l_{\text{пр}} = 16,45$ мм),

Так як ДП покривається шаром лаку, необхідно це врахувати шляхом обчислення діелектричної проникності ε (в даному випадку шар лаку потрібно враховувати, тому що діелектриком між обкладками паразитної ємності виступають матеріал ДП і шар лаку) за формулою 4.20:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\text{матеріал_дп}} * \varepsilon_{\text{лаку}} * (h_{\text{матеріал_дп}} + 2h_{\text{шар лаку}})}{h_{\text{матеріал_дп}} * \varepsilon_{\text{лаку}} + 2h_{\text{шар лаку}} * \varepsilon_{\text{матеріал_дп}}}, \quad (4.20)$$

де: $h_{\text{шар лаку}}$ – товщина одного шару лаку ($5 \cdot 10^{-6}$ м),

$\varepsilon_{\text{лаку}}$ – діелектрична проникність лаку УР-231, $\varepsilon_{\text{лаку}} = 4,5$ [11],

$h_{\text{матеріал_дп}}$ – товщина плати, $h_{\text{матеріал_дп}} = 0,0015$ м,

$\varepsilon_{\text{матеріал_дп}}$ – діелектрична проникність матеріалу плати, $\varepsilon_{\text{матеріал_дп}} = 4,5$ [12].

ε

$$= \frac{4,5 * 4,5 * (0,0015 + 2 * 0,000005 * 0,000005)}{0,0015 * 4,5 + 2 * 0,000005 * 0,000005} = 4,5$$

$$C = 0,12 * \varepsilon * l_{\text{пр}} \left(\lg \frac{2S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right)^{-1} = 0,12 * 4,5 * 16,45 * \left(\lg \frac{2 * 0.1}{0.1 + 0.0965} \right)^{-1} = 8,883 * (\lg(1.018))^{-1} = 6,8 \text{ пФ.}$$

4.2.4. Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини

Тепер знайдемо індуктивність двох провідників за формулою 4.21[13] :

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} * \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_o^2} + l_{\text{пр}}}{L_o} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_o^2} + L_o \right), \quad (4.21)$$

де:

$l_{\text{пр}}$ – довжина перекриття паралельних провідників, ($l_{\text{пр}} = 16,45$ мм)

L_o – відстань між вісьовими лініями двох паралельних провідників, ($L_o = 0,02$ см).

$$M = 0,02 \left(l_{\text{пр}} * \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_o^2} + l_{\text{пр}}}{L_o} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 + L_o^2} + L_o \right) =$$

$$= 0,02 \left(1,65 * \lg \frac{\sqrt{2,723 + 0,0002} + 1,65}{0,01} - \sqrt{2,723 + 0,0002} + 0,0002 \right) = 0,05 \text{ нГн.}$$

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Потужність втрат друкованої плати рівна 1,48 нВт, що є нехтовно малою величиною, і можна стверджувати, що робота схеми ніяк не вплине на функціонування друкованого вузлу.

Отримані значення паразитної ємності ($C = 6,8$ пФ) та взаємної індуктивності ($M = 50$ пГн) дозволяють стверджувати, що на працездатність схеми вони не впливають, оскільки частота роботи схеми порядку декількох десятків кГц, а на такій частоті дані ємність та індуктивність ніякого ефекту на роботу схеми не матимуть, оскільки їх еквівалентний опір буде дуже великим, що еквівалентно розриву на такій частоті.

4.3. Розрахунок надійності друкованого вузла

За означенням ГОСТ 27.002–83, надійність – це властивість об’єкту зберігати протягом певного часу установлені значення певних параметрів, які характеризують можливість виконувати потрібні функції в заданих режимах і умовах експлуатації, технічного обслуговування, ремонтів, збереження і транспортування.

Надійність друкованого вузлу визначається надійністю всіх елементів, що встановлюються на ДП, власне самою ДП та пайкою елементів. Відмова одного чи декількох елементів веде до відмови всієї складної ЕОА, при чому ці елементи фактично є невідновлюваними.

Основними показниками та характеристиками надійності є [14]

- $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи;
- $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов;
- T – середній час напрацювання до першої відмови;
- $Q(t)$ – імовірність відмови.

Інтенсивність відмов електрорадіоелементів являється експериментальною величиною і залежить від ряду факторів – температури навколишнього середовища, вологості, теплових ударів, режиму роботи і т.д.

Важлива характеристика надійності - середній час безвідмовної роботи визначається:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (4.22)$$

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Інтенсивність відмов ЕРЕ є їх вихідною характеристикою надійності, залежить від режиму роботи та ступеню тяжкості таких зовнішніх впливів, як температура, тепловий удар, вологість, вібрації і т.д.

Тоді можна записати

$$\lambda_e = \lambda_{oe} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (4.23)$$

де λ_{oe} - інтенсивність відмов елементу при нормальних умовах роботи (температура навколишнього середовища $T_{\text{навк.ср}} = 20 \pm 5^\circ\text{C}$, відносна вологість $65 \pm 15\%$); коефіцієнт електричного навантаження $K_n = 1$, K_1 , K_2 , K_n - поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації.

Для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов ЕОА вводять коефіцієнт навантаження, що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі:

$$K_n = \frac{H_{\text{роб}}}{H_{\text{ном}}}, \quad (4.24)$$

Для розрахунку інтенсивності відмов елемента будемо використовувати базову інтенсивність відмов λ_0 – тобто при нормальних умовах. Ця величина є експериментальною і наведена у довідниках для різних елементів. Будемо використовувати дані із джерела [14]. Також необхідно врахувати режим роботи елементів, температурний режим та зовнішні впливи. Для цього для врахування режиму роботи елемента будемо використовувати коефіцієнт навантаження K_n , для врахування температурного режиму будемо використовувати поправочний коефіцієнт температурного режиму α_t , для врахування зовнішніх впливів - α_e . Отсанні два також є довідниковими значеннями, тому значення для α_t і α_e будемо використовувати із джерела [15].

Оскільки коефіцієнт навантаження є недовідниковим значенням, тому розрахуємо його для кожного з типів конструктивних елементів. Він визначається як відношення навантаження в робочому режимі до навантаження номінального.

Резистори. Для резистора розрахуємо K_n для найгіршого випадку, тобто саме той резистор, який має найменший опір, тому що від опора залежить струм

який буде через нього протікати. Тобто чим менший опір, тим більший струм – найгірший для нас випадок. Розглянемо резистор з найменшим номінальним опором на якому можливе максимальне падіння напруги (1 кОм) як найгірший випадок, оскільки у всіх інших резисторах буде кращий показник, а тому на них буде менший вплив і їм менше загрожує швидко вийти з ладу.

Отже:

$$K_{HR} = \frac{U^2}{R \cdot P_{\text{ном}}} = \frac{5^2}{1000 \cdot 0.25} = 0.1, \quad (4.25)$$

де: $R = 1 \text{ кОм}$,
 $P_{\text{ном}} = 0,25 \text{ Вт}$ – номінальна потужністю,
 $U = 5 \text{ В}$ – напруга живлення (максимально можлива на елементі).

Конденстори. Для конденсаторів коефіцієнт навантаження визначається за напругою. Розраховуємо для найгіршого випадку для керамічних конденсаторів:

$$K_{\text{HC}} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{5}{25} = 0.2, \quad (4.26)$$

де: $U_{\text{роб}} = 5 \text{ В}$ – напруга живлення (максимально можлива на елементі в ланцюгах живлення),

$U_{\text{ном}} = 25 \text{ В}$ – номінальна напруга пробою конденсатора.

Для електrolітичного:

$$K_{\text{HC}} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{5}{16} \approx 0.31, \quad (4.27)$$

де: $U_{\text{роб}} = 5 \text{ В}$ – напруга живлення (максимально можлива на елементі в ланцюгах живлення),

$U_{\text{ном}} = 16 \text{ В}$ – номінальна напруга пробою конденсатора.

Для діодів: в нашому випадку розраховуватимемо K_n для діодів за струмом, оскільки струми, за яких працюють ці елементи, значно ближчі до максимальних значень прямого струму через діод (584мА до 1А), ніж у випадку напруги, тому вибираємо гірший випадок:

$$K_{\text{HD}} = \frac{I_{\text{роб}}}{I_{\text{ном}}} = \frac{584}{1000} \approx 0.6, \quad (4.28)$$

Мікросхеми: вибираємо K_H рівний 1, оскільки мікросхеми були вибрані такими, щоб забезпечувати повне функціонування схеми, припускаючи що всі мікросхеми працюють у відповідних режимах при струмах та напругах, що забезпечують стабільне функціонування їх протягом довгого часу як гарантує datasheet на кожному з мікросхем.

Решта елементів: для усіх інших елементів вибираємо $K_H = 1$. Інтенсивність відмов друкованої плати визначатимемо як інтенсивність відмов металізованих отворів.

Дані для розрахунку часу напрацювання до першої відмови занесені до Таблиці 4.2. Кліматичне виконання приладу УХЛ1.1, що диктує максимальну температуру роботи в $+40^{\circ}\text{C}$, спираючись на цю інформацію обираємо α_t (поправочний температурний коефіцієнт). Даний друкований вузол відноситься до наземної електрорадіоапаратури, тому вибираємо $\alpha_e = 5$. [14].

В таблиці 4.2:

$\mathbf{a_e}$ – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх впливів (для наземної стаціонарної апаратури $\mathbf{a_e} = 5$),

$\mathbf{a_t}$ - поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності відмов, що наведені в таблиці, дещо завищені, що дозволяє виконати розрахунок для «найгіршого випадку».

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов для всіх компонентів:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, \quad (4.30)$$

де $\lambda_{pi} = N * \lambda_{0в} * K_H * \alpha_t * \alpha_e$,

N – кількість елементів даного типу,

$\lambda_{0в}$ – інтенсивність відмов в год^{-1} ,

K_H – коефіцієнт навантаження,

α_t – поправочний температурний коефіцієнт,

α_e – поправочний коефіцієнт на зовнішні впливи.

Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузла:

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} = 43,970595 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Середній час напрацювання на відмову рахується за наступною формулою:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} \quad (4.31)$$

$$T_{cp} = \frac{1}{13,28345 \cdot 10^{-6}} = 75281 \text{ год}$$

Таблиця 4.2. Показники надійності компонентів друкованого вузла.

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-6}, \text{год}^{-1}$	K_n	a_t	a_e	$N\lambda_{0e}K_n a_t a_e \cdot 10^{-6}$
Конденсатори керамічні	83	0,022	0,2	0,4	5	0,7304
Конденсатори електролітичні	4	0,173	0,31	0,2	5	0,21452
Резистори	33	0,044	0,1	0,2	5	0,1452
Катушки	6	0,179	0,6	0,5	5	1,611
Діоди	3	0,025	0,6	0,9	5	0,2025
Запобіжники	3	0,045	0,8	1	5	0,54
Пристрої індикації	5	0,23	1	1	5	5,75
Мікросхеми	5	0,025	1	1,2	5	0,75
Плата друкована	4	0,001	1	1	5	0,02
Друкована плата(мет.отвори)	342	0,000017	1	1	5	0,02907
Контакти роз'ємів	42	0,015	1	1	5	3,15
Пайка виводу	408	0,000069	1	1	5	0,14076
сумарна інтенсивність відмов друкованого вузлу						13,28345

Середній час напрацювання складає приблизно 8,5 років, що є прекрасним результатом. За рік напрацювання (8760 годин) імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ та імовірність відмови $Q(t)$ обраховується за формулами:

$$P_{\text{річн}}(8760) = e^{-\lambda_p t} = e^{-13,28345 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} \approx 0,88 \quad (4.32)$$

$$Q_{\text{річн}} = 1 - P_{\text{річн}} = 1 - 0,89 = 0,11. \quad (4.33)$$

Також варто зауважити, що в рамках даного проекту розраховано показники лише раптових відмов. Розрахунок поступових відмов не передбачений технічним завданням.

Отриманий результат (~75000 год) задовольняє вимогам ТЗ. Отриманий результат можна покращити. Можна зменшити кількість перехідних отворів, але тоді в такому випадку процес проектування друкованої плати буде значно складнішим та збільшить вартість. Також це не є гарним варіантом, оскільки ми не враховували поступові відмови.

4.4. Розрахунок віброміцності друкованого вузла.

Для забезпечення віброміцності друкованої плати необхідно виконання наступних вимог [16]:

- відсутність в конструкції механічних резонансів;
- обмеження амплітуди вібропереміщення значеннями, що виключають небезпечні механічні напруження.

Основні параметри склотекстоліту FR-4:

- тимчасовий опір $\sigma_T = 105$ (МПа);
- модуль Юнга $E = 3,02 \cdot 10^{10}$ (Па);
- коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,22$;
- показник затухання $\varepsilon = 0,06$;
- питома вага $\rho_{\text{FR-4}} = 2050$ кг/м³;
- питома щільність $\nu = 2,05 \cdot 10^4$ Н/м³;
- коефіцієнт запасу міцності $n_1 = 2$;

Плата пристрою, що проектується, має лінійні розміри a (мм) \times b (мм) \times h (мм) = 165 \times 75 \times 1,5. Маса друкованої плати розраховуватиметься за формулою:

$$m_{\text{дп}} = \rho * V = \rho_{\text{FR-4}} * (a * b * h), \quad (4.34)$$

де $\rho_{\text{FR-4}} = 2,05 \text{ г/см}^3$ – густина склотекстоліту FR-4, враховуючи друковані провідники.

$$m_{\text{дп}} = 2,05 * 16 * 7,5 * 0,15 = 36,9 \text{ (г)}$$

Розрахунок маси елементів зведено до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Маса елементів друкованої плати.

Елемент	Позначення	К-ть	Маса, г	Загальна маса, г
Конденсатори керамічні	1206-X7R	83	0,04	3,32
Конденсатори електролітичні	Radial, Can-SMD	4	0,86	3,44
Мікросхеми	BCM2835	1	1,65	2,4
	LAN9512	1	0,67	0,67
	NCP117ST	2	0,35	0,7
	NCP117LPS T	1	0,35	0,35
Резистори	SMD 0,25 Вт 1206	33	0,09	2,97
Запобіжники	0603 Panasonic	1	0,08	0,08
	1812 Littelfuse	2	0,06	0,12
Діоди	BAS16	2	0,16	0,32
	SMBJ5.0A	1	0,13	0,13
Пристрої індикації	SMD- D12U1WT86	2	0,2	0,4
	SMD-	3	0,2	0,6

	LXFM0603			
Роз'єми	72039-8034BLF	1	2,1	2,1
	RJSE4237101T	1	1,5	1,5
	DM3AT-SP-PEJM5	1	1,65	1,65
	FTSH-113-01-L-DV-K	1	2,84	1,84
	ZX62D-B-5PA	1	1,65	1,65
Загальна маса				24,49

Загальна маса елементів які входять до пристрою становить $m_E = 24,49$ грам. Коефіцієнт перенавантаження $n = 8$.

Варіанти закріплення друкованих плат:

Спирання на 4 сторони



$$\alpha = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right)$$

Спирання на 3 сторони



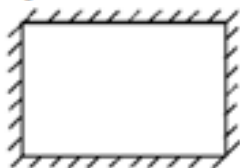
$$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}$$

Спирання на 3 сторони



$$\alpha = \pi^2 \cdot \sqrt{1 + 0,43 \cdot \frac{a^2}{b^2}}$$

Жорстке закріплення по 4 сторонам



$$\alpha = 22,37 \cdot \sqrt{1 + 0,61 \cdot \frac{a^2}{b^2} + \frac{a^4}{b^4}}$$

Рисунок 4.6. Варіанти закріплення друкованої плати.

Вибраний тип закріплення друкованої плати – нежорстке спирання на 4 сторони.

Визначення коефіцієнту K_B здійснюється за формулою:

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_E}{m_{дп}}}} \quad (4.35)$$

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{24,49}{36,3}}} = 0,775$$

Коефіцієнт α , враховуючи вибраний тип закріплення буде обчислюватися за формулою:

$$\alpha = \pi^2 * \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \quad (4.36)$$

$$\alpha = 9,86 * \left(1 + \frac{0,165^2}{0,075^2}\right) = 57,58$$

Визначення циліндричної жорсткості D :

$$D = \frac{E * h^3}{12 * (1 - \mu^2)} \quad (4.37)$$

$$D = \frac{3,02 * 10^{10} * 0,0015^3}{12 * (1 - 0,22^2)} = 8,93 \text{ (Н·м)}$$

Визначення власної частоти коливань друкованої плати $f_{\text{влас}}$ за формулою:

$$f_{\text{влас}} = \frac{K_B * \alpha}{2 * \pi * a^2} * \sqrt{\frac{D * g}{v * h}} \quad (4.38)$$

$$f_{\text{влас}} = \frac{0,775 * 57,58}{2 * 3,14 * 0,165^2} * \sqrt{\frac{8,93 * 9,81}{2,05 * 10^4 * 0,0015}} \approx 441 \text{ (Гц)}$$

Практика показала, що якщо $f_c > 250$ Гц, то конструкція абсолютно жорстка.

Розрахуємо для перевірки амплітуду вібрацій на власній частоті, або динамічний прогин.

Амплітуда вібрацій на власній частоті обчислюється за формулою:

$$A = \frac{0,25n}{f_{\text{влас}}^2} \quad (4.39)$$

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$$A = \frac{0,25 \cdot 8}{441^2} \approx 0,001 \text{ (мм)}$$

Визначення коефіцієнту динамічності K_d (в скільки разів амплітуда на вимушених коливаннях відрізняється від амплітуди на власній частоті коливань):

$$K_d = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{f}{f_{\text{влас}}}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{f \cdot \varepsilon}{f_{\text{влас}}}\right)^2}}, \quad (4.40)$$

де f – частота вимушених коливань,

ε – показник затухання.

Візьмемо частоту вимушених коливань рівною 10 Гц (низькочастотні коливання мають більшу імовірність появи і є найбільш енергетичними) коефіцієнт динамічності K_d матиме значення:

$$K_d = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{10}{441}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{10 \cdot 0,06}{441}\right)^2}} = 1,0005$$

Визначення динамічного прогину W :

$$W = K_d \cdot A \quad (4.41)$$

$$W = 1,0005 \cdot 0,0001 \approx 0,0001 \text{ (мм)}$$

Порівняємо W з товщиною плати (h). Динамічний прогин не перевищує $\frac{1}{5}h$ ($0,0001 \text{ мм} < 0,3 \text{ мм}$).

Рівномірно розподілене динамічне навантаження P_d :

$$P_d = \frac{W \cdot D}{c_1 \cdot b^4} \quad (4.42)$$

Коефіцієнт c_1 розраховується за формулою:

$$c_1 = 0,00406 + 0,018 \cdot \lg\left(\frac{a}{b}\right) \quad (4.43)$$

$$c_1 = 0,00406 + 0,018 \cdot \lg \frac{165}{75} \approx 0,01$$

$$P_d = \frac{0,022 \cdot 10^{-3} \cdot 8,93}{0,01 \cdot 0,075^4} \approx 621 \text{ (Н/м}^2\text{)}$$

Визначаємо максимальний розподілений прогибний момент:

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$M_{\max} = c_2 * P_d * b^2 \quad (4.44)$$

Коефіцієнт c_2 розраховується за наступною формулою:

$$c_2 = 0,0479 + 0,18 * \lg\left(\frac{a}{b}\right) \quad (4.45)$$

$$c_2 = 0,0479 + 0,018 * \lg \frac{165}{75} \approx 0,05$$

$$M_{\max} = 0,05 * 621 * 0,075^2 = 0,3 \text{ (Н)}$$

Допустиме напруження для матеріалу друкованої плати:

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_t}{n_1}, \quad (4.46)$$

де n_1 – коефіцієнт запасу міцності.

$$\sigma_{\text{доп}} = 105/2 = 52,5 \text{ (МПа)}$$

Для виконання умови вібростійкості необхідно:

$$\sigma_{\max} \ll \sigma_{\text{доп}},$$

де σ_{\max} :

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \cdot M_{\max}}{h^2} \quad (4.47)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{6 \cdot 0,3}{0,0015^2} \approx 0,8 \text{ (МПа)} \ll 52,5 \text{ (МПа)}$$

Для діапазону частот вимушених коливань від 1 Гц до 1кГц здійснено розрахунок максимального прогину для підтвердження виконання умов вібростійкості.

Отже, умови вібростійкості для плати задовольняються, додаткових заходів із підвищення вібростійкості не потребується.

4.5. Розрахунок теплового режиму стабілізатора напруги

Оскільки схема живиться від стабілізаторів напруги, необхідно розрахувати їх тепловий режим, щоб впевнитися в оптимальному режимі роботи.

В нас є кілька стабілізаторів напруг, але розрахуємо тепловий режим для стабілізатора DA1, який має максимальну напругу. Припустимо для підвищення надійності розрахунків, що через цей стабілізатор напруги може протікати максимально можливий у схемі струм рівний 584 мА (значення розраховано в попередніх пунктах).

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Стабілізатор напруги DA1 – NCP117LPST має наступні характеристики:

- корпус SOT-223;
- максимальна температура кристалу $T_K = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- температурний опір кристал-середовище $110\text{ }\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$.

Згідно з документацією на стабілізатор, максимальна потужність яку може розсіяти стабілізатор, становить 12 Вт.

Відповідно до схеми електричної принципової, максимальна напруга, яка може бути на вході пристрою – 5 вольт. Потужність, що розсіюється на стабілізаторів розраховується за формулою:

$$P_{\text{розс}} = (U_{\text{вх}} - U_{\text{стаб}}) \cdot I_{\text{max}}, \quad (4.48)$$

де $U_{\text{вх}}$ – вхідна напруга;

$U_{\text{стаб}} = 3,3\text{ В}$ – напруга стабілізації;

$I_{\text{max}} = 584\text{ мА}$ – максимально можливий струм (для підвищення надійності розрахунків приймемо $I_{\text{max}} = 600\text{ мА}$).

$$P_{\text{розс}} = (5 - 3,3) \cdot 0,6 = 1,02\text{ (Вт)}$$

Результати розрахунку показують, що при нормальних умовах потужність розсіювання не перевищує значення 10% від максимально допустимої потужності.

Розрахунок запасу допустимих температур для кристалу розрахуємо за формулою[17]:

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{н. с.}} + P \cdot \left(R_{\frac{\text{нп.}}{\text{корп.}}} + R_{\frac{\text{корп.}}{\text{серед.}}} \right), \quad (4.49)$$

де $T_{\text{н.с.}}$ – температура навколишнього середовища $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (взято із запасом, для розрахунку для «найгіршого випадку»);

$R_{\frac{\text{корп.}}{\text{серед.}}} = 110\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$ – тепловий опір переходу корпус SOT-223 – навколишнє середовище;

$R_{\frac{\text{нп.}}{\text{корп.}}} = 15\text{ }^{\circ}\text{C/Вт}$ – тепловий опір переходу напівпровідник – корпус.

$$T_{\text{доп}} = 50 + 1,02 \cdot (15 + 110) = 177,5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Нагрів кристалу при роботі розрахуємо за формулою:

$$\Delta T = P * R_{KC}, \quad (4.50)$$

де ΔT – температура нагріву кристалу (°C);

R_{KC} – опір кристал середовище, $R_{KC} = R_{\text{нп. корп.}} + R_{\text{корп. серед.}}$.

$$\Delta T = 1,02 * (15 + 110) = 127,5 \text{ (°C)}.$$

Максимальна температура кристалу становить 150 °C. Обраховане значення $T_{\text{доп}}$ більше за максимальне. А тому потрібно збільшити площу розсіювання. А тому можна створити площину, яка буде виводити цю температуру. Таким чином для відведення тепла була зроблена площина розмірами 1x1 см, до якої стабілізатор буде паятися припоєм.

В такому випадку опір кристал-середовище рахується за формулою [17]:

$$R_{KC} = R_{\text{нп. корп.}} + R_{\text{корп. радіатор.}} + R_{\text{радіатор. серед.}} \quad (4.51)$$

де $R_{\text{корп. радіатор.}}$ – тепловий опір контакту корпус-радіатор 1,5 °C/Вт [17];

$R_{\text{радіатор. серед.}}$ – тепловий опір радіатор – середовище. Розраховується для випадку пластинчатого радіатора(саме таким є контактний майданчик) за формулою [18]:

$$R_{\text{радіатор. серед.}} = \frac{50}{\sqrt{S}}, \quad (4.52)$$

де S – площа майданчика в см^2 , $S = 1*1=1 \text{ (см}^2\text{)}$.

$$R_{\text{радіатор. серед.}} = \frac{50}{\sqrt{1}} \approx 50 \left(\frac{^\circ \text{C}}{\text{Вт}} \right).$$

$$R_{KC} = 10 + 1,5 + 50 = 61,5 \left(\frac{^\circ \text{C}}{\text{Вт}} \right).$$

Перерахуємо значення температури нагріву кристалу і температури кристалу.

$$T_{\text{доп}} = 50 + 1,02 * (61,5) = 112,7 \text{ (°C)}.$$

$$\Delta T = 1,02 * (61,5) = 62,7 \text{ (°C)}.$$

Дане значення температури кристалу при температурі навколишнього середовища 50°C можна вважати прийнятним.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Такий результат вже нас задовольняє. Для кращого результату можна збільшити даний майданчик у півтора рази. Але вже зараз температура менше максимальної на 37 градусів.

Висновки до розділу

В даному розділі були розраховані значення, які були поставлені класом точності.

Був обраний матеріал для друкованої плати. В нашому випадку було проаналізовано характеристики потрібної нам плати. Тому було вибрано матеріал FR4-2-35-1.5. Також було вирішено, що плата буде виготовлена комбінованим позитивним методом.

Ми знайшли значення падіння напруги на найдовшому провіднику. Значення рівне 18, 57 мВ. Тобто розраховане значення не перевищує 5% від напруги живлення усередині схеми (165 мВ) при напрузі живлення рівній 3.3 В. Отже, ширина провідника повністю задовольняє вимогам максимально допустимого падіння напруги на одиницю довжини провідника.

Потужність втрат друкованої плати рівна 1,48 нВт., що є дуже малим значенням, а тому на роботу даної схеми не вплине. Також можна стверджувати, що обраний матеріал плати задовольняє за цим параметром.

Були знайдені значення паразитної ємності ($C = 6,8$ пФ) та взаємної індуктивності ($M = 50$ пГн). Можна стверджувати, що на працездатність схеми вони не впливають, оскільки частота роботи схеми порядку декількох десятків кГц.

Були проведені розрахунки надійності роботи пристрою. Отриманий результат рівний близько 75000 год, що рівний майже 8,5 років існування надійної роботи. Дане значення повністю задовольняє вимогам ТЗ. Розрахунок поступових відмов не потрібен за вимогами ТЗ.

Також було виконано віброміцність плати. Власна частота коливань плати рівна 441 (Гц). Дане значення більше ніж 250 (Гц). Це означає, що конструкція є абсолютно жорсткою. Також було пораховано максимальний прогин плати. Він

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

вийявився менше ніж максимально допустимий ($0,022 \text{ мм} < 0,3 \text{ мм}$). Це підтвердило наше рішення, щодо жорсткості плати.

Проведено тепловий розрахунок стабілізатора напруги. Було взято за увагу найгірші можливі умови для нього. Було розраховано для температури рівній 50°C . Температура кристала була рівна 177°C , максимальна допустима 150°C . Тому було вирішено розмістити контактний майданчик для цього стабілізатора площею 1см^2 . Тоді значення температури зменшилось до 112°C , що є вже нормальним. Температура також можна ще зменшити, якщо зробити контактний майданчик більшим.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Розділ 5. АЛГОРИТМ ТА НАСТРОЙКА ПРИСТРОЮ

Детальне пояснення роботи приладу було розглянуто в другому розділі. Тепер розглянемо програмний алгоритм приладу.

За основу було взято мікропроцесор BCM-2835. Тому програмувати його потрібно за допомогою мови Python 3.0. Налаштування проходить в програмі vncviewer.

Встановлення Raspbian для RFID RC522

Відкриваємо raspi-config, та запускаємо термінал, виконавши наступну команду.

```
sudo raspi-config
```

Цей інструмент завантажує екран, на якому буде відображений весь процес роботи.

Обираємо інтерфейс SPI та вмикаємо його. Далі програма запускає інтерфейс SPI.

Тепер потрібно перезапустити прилад.

```
sudo reboot /
```

Далі перевіряємо наявність spi_bcm2835.

```
lsmod | grep spi
```

Якщо з якихось причин модуль SPI не активований, ми можемо вручну редагувати файл конфігурації завантаження, виконавши наступну команду.

```
sudo nano /boot/config.txt
```

У конфігураційному файлі треба знайти “*dtparam = spi = on*”. Якщо строки немає, то потрібно її прописати.

Підготовка Python до RFID RC522

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Після підключення RFID RC522 схеми до приладу, ми можемо включити його і почати процес програмування скриптів на Python для взаємодії з чіпом.

Для оновлення останньої версії Raspian запускаємо дві команди

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt-get upgrade
```

Перш ніж продовжити, потрібно встановити пакети *python3-dev*, *python-pip* та *git*. Просто запустіть наступну команду, щоб встановити всі необхідні пакети для цього посібника з налаштування читача RFID.

```
sudo apt-get install python3-dev python3-pip
```

Встановимо бібліотеку Python Spidev до нашого пристрою, використовуючи пакет "pip", який ми завантажили на попередньому кроці.

Бібліотека spidev допомагає обробляти взаємодії з SPI і є ключовим компонентом, оскільки нам потрібна вона для взаємодії пристрою з RFID RC522. Запускаємо наступну команду на пристрої, щоб встановити spidev через пакет pip. Ми використовуємо sudo тут, щоб переконатися, що пакет встановлений так, що всі користувачі можуть використовувати його.

```
sudo pip3 install spidev
```

Встановимо бібліотеку MFRC522, використовуючи також pip.

У бібліотеці MFRC522 є два файли, які ми використовуємо:

- MFRC522.py, яка є реалізацією інтерфейсу RFID RC522, ця бібліотека обробляє всю важку роботу для спілкування з RFID через інтерфейс SPI Pi.
- SimpleMFRC522.py, який приймає файл MFRC522.py і значно спрощує його.

Щоб встановити бібліотеку MFRC522 на пристрій за допомогою pip, виконуємо наступну команду.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Апк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

```
sudo pip3 install mfrc522
```

Запис на RFID RC522

Створюємо папку, де будуть зберігатись дані. Назвемо її “pi-rfid”, виконавши наступну команду.

```
mkdir ~ / pi-rfid
```

Змінемо нашу нещодавно клоновану папку і понемо писати скрипт Write.py.

```
cd ~ / pi-rfid
```

```
sudo nano Write.py
```

Записуємо наступні рядки коду.

```
#!/usr/bin/env python/
```

```
import RPi.GPIO as GPIO
```

```
from mfrc522 import SimpleMFRC522
```

Перший рядок цього сегмента коду допомагає повідомляти терміналу, як інтерпретувати файл, і дозволяє йому знати, що він повинен використовувати Python при його виконанні.

Наш перший імпорт, RPi.GPIO має всі функції, необхідні для взаємодії з GPIO Pins, нам це потрібно, щоб переконатися, що вони видаляються, коли скрипт закінчується.

Другий імпорт – це імпорт в бібліотеку SimpleMFRC522. Це те, що ми будемо використовувати для спілкування з RFID RC522, що значно спрощує роботу з чіпом порівняно з базовою бібліотекою MFRC522.

```
reader = SimpleMFRC522 ()
```

Це створює копію SimpleMFRC522 як об'єкт та запускає її функцію налаштування, а потім зберігає все це в нашій змінній зчитувача.

try:

```
text = input('New data:')  
print("Now place your tag to write")  
reader.write(text)  
print("Written")
```

Наш наступний блок коду, який ми зберігаємо як “try” дає змогу зчитувати будь-які вхідні дані та записувати або очищувати їх правильно. Другий рядок читається у вхідному рядку з командного рядка, і ми використовуємо вхідні дані в Python 3, щоб читати всі вхідні дані і зберігати їх у нашій текстовій змінній. У третьому рядку ми використовуємо print (), щоб сповістити користувача про те, що тепер вони можуть розмістити свій RFID-тег на читанні для запису. Після цього в четвертому рядку коду ми використовуємо наш об'єкт читання для запису значень, які ми зберігаємо в текстовій змінній, до тегу RFID, це дозволить схемі RFID RC522 записати текстові значення в певний сектор. Нарешті, на п'ятому рядку коду ми знову використовуємо print (), щоб сповістити користувача про те, що ми успішно записали теги RFID.

finally:

```
GPIO.cleanup()
```

Наші останні два рядки коду обробляють вихід сценарію. “Finally”, завжди відбувається після оператора try, що означає, незалежно від того, що ми виконуємо функцію GPIO.cleanup (). Ці рядки мають вирішальне значення, оскільки неможливість очищення може завадити роботі інших сценаріїв.

Далі проводиться запуск коду.

Тепер треба перевірити його. Перед тестуванням скрипту переконайтеся, що у вас є тег RFID. Після того, як ви готові, введіть таку команду в термінал.

```
sudo python3 Write.py
```

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Далі потрібно записати нові дані. Напишемо hello.

Зробивши це, треба помістити свій RFID-тег на датчик RFID RC522. Як тільки він виявить його, він негайно запише нові дані в тег. У полі командного рядка повинно з'явитись "Written", якщо все було успішно. Приклад показано на рис.5.1:

```
pi@raspberrypi:~/pi-rfid $ sudo python3 Write.py
New data:pimylifeup
Now place your tag to write
Written
```

Рис.5.1 – приклад успішного виконання

Зчитування з RFID RC522

Треба змінити каталог так, щоб переконатися, що ми знаходимося в потрібному місці, і тоді ми можемо запустити *nano*, щоб почати писати наш Read.py сценарій.

```
cd ~ / pi-rfid
```

```
sudo nano Read.py
```

Цей блок буде чекати, поки не прикладеться RFID-тег на RFID RC522 читача. Потім він виведе дані, які зчитає з тегу.

```
#!/usr/bin/env python
```

```
import RPi.GPIO as GPIO
```

```
from mfrc522 import SimpleMFRC522
```

Перший рядок коду повідомляє операційній системі, як обробляти файл, коли його виконує користувач. В іншому випадку він спробує виконати його як звичайний файл сценарію, а не файл Python.

Перший імпорт - RPi.GPIO. Ця бібліотека містить всі функції для роботи з контактами GPIO пристрою, і ми в імпортуємо їх, щоб переконатися, що реєстр очиститься, коли скрипт закінчить виконання.

Другий імпорт - SimpleMFRC522. Цей скрипт містить декілька допоміжних функцій, щоб зробити його набагато простішим у роботі з написанням і читанням з RFID RC522.

```
reader = SimpleMFRC522 ()
```

Ця команда є дуже важливою, оскільки вона викликає функцію створення SimpleMFRC522, а потім зберігає її у нашій змінній читача як об'єкт, щоб ми могли взаємодіяти з нею пізніше.

```
try:  
  
    id, text = reader.read()  
  
    print(id)  
  
    print(text)
```

Цей наступний блок коду міститься в операторі try, і ми використовуємо це для того, щоб ми могли виявити будь-які винятки, які можуть виникнути і добре працювати з ними.

Другий рядок в цьому блоці коду викликає наш об'єкт зчитувача, в даному випадку він повідомляє ланцюгу почати зчитування будь-якої RFID-мітки, що розміщена на вершині читача стеку RC522.

Третя та четверта команда виконують друк інформації, яку ми отримали від читання чіпа RFID, це включає в себе ідентифікатор, пов'язаний з тегом RFID, і текст, який зберігається в тезі.

```
finally:  
  
    GPIO.cleanup()
```

Два останні рядки коду обробляють завершення сценарію. Вираз "finally" завжди спрацьовує після оператора try.

Ця операція try гарантує, що незалежно від того, що ми виконуємо, функція GPIO.cleanup (). Дуже важливо, оскільки невдале очищення GPIO може завадити роботі інших скриптів.

Зберігаємо файл та запускаємо його.

Після завершення написання блоку зчитування потрібно перевірити його роботу. Перш ніж перевірити код, захопіть один з міток RFID, які ви хочете прочитати. Після того, як ви готові, введіть таку команду в термінал.

```
sudo python3 Read.py
```

Прикладаємо RFID-мітку. Після цього пристрій перевіре дані. Та виведе їх назад. На рис.5.2 показаний успішний приклад виводу.

```
pi@raspberrypi:~/pi-rfid $ sudo python3 Read.py  
827843705425  
pimylifeup
```

Рис. 5.2 – приклад виводу даних

В такому випадку все було налаштовано успішно.

Висновок

В даному розділі був наведений код та процес налаштування пристрою. Налаштування проходить за допомогою мови Python. Сам код складається з чотирьох основних блоків.

Для початку було налаштовано ОС Raspbian. Далі було налаштування приладу до роботи з мовою програмування Python. Потім налаштували RFID RC522 на зчитування та вивід даних з RFID-міток.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті розроблено друкований вузол, схемотехнічне рішення та програмне забезпечення системи контролю доступом. Даний пристрій має наступні технічні характеристики, які відповідають вимогам технічного завдання:

Габаритні розміри	160x75 мм.
Маса	61,4 г.
Живлення	5 В.
Режими роботи	Зчитування; вивід даних

В ході обґрунтування даного рішення виконані наступні етапи:

1. В першому розділі було проаналізовано існуючі рішення систем контролю доступом та загальний принцип Інтернету речей. Було вирішено поєднати ці два принципи, оскільки на даний момент таких рішень не існує.

2. В другому розділі була розроблена структурна схема, де основою була обрана система на кристалі, Broadcom BCM2835. Були обрані потрібні блоки схем, а саме блоки: USB, microUSB, Ethernet та роз'єм для SD картки. Було вирішено, що система буде використовувати інтерфейс SPI для зв'язку з зовнішніми датчиками. Також було розраховано ємність електролітичних конденсаторів, які використовуються як фільтр частот (220 мкФ). Та був розрахований опір підтягуючих резисторів для світлодіодів (1кОм). Також був розрахований опір резисторів, які встановлюються на шині передачі даних SPI (1,8 кОм).

3. В третьому розділі було проаналізовано типи друкованої плати та обраний четвертий, оскільки цей клас достатньо точний та для не потрібно мати спеціальне та рідкісне обладнання. Для матеріалу плати був обраний FR4-2-35-1.5. А сама плата має чотири шари: нижній, земля, живлення (був розділений на полігони, оскільки плата має декілька значень живлення) та верхній. Плата виготовляється комбінованим позитивним методом.

4. В четвертому розділі були проведені розрахунки, що підтверджують правильність конструкторського рішення. Був розрахований максимальний струм плати (584мА) та значення максимального падіння напруги (18,57 мВ), що є нормою для даної схеми. Також була розрахована втрата потужності (1,48 нВт), що є незначним та не вплине на роботу схеми. Були розраховані значення паразитної ємності ($C=6,8\text{пФ}$) та паразитної індуктивності, яка рівна ($M=50\text{ пГн}$). Дані значення не вплинуть на роботу схеми. Надійність роботи пристрою рівна близько 75000 год, що є дуже хорошим результатом. Були проведені результати віброміцності плати (441Гц), що означає, що плата є абсолютно жорсткою. Для вдостовірення цього твердження також був порахований максимальний прогин плати (0,022мм), що є дуже незначною величиною. Тепловий розрахунок показав, що температура кристала стабілізатора перевищує норму (177°C). Тому було вирішено розмістити контактний майданчик для стабілізатора для покращення теплового режиму. Тоді температура стає рівною 112°C, що є нижче максимального показника.

5. В п'ятому розділі було наведено код та процес налаштування пристрою. Було поетапно представлено налаштування пристрою з датчиком RFID RC522.

Даний проект розроблений в повному обсязі. Вся потрібна інформація для створення прототипу наведена в кресленнях та додатках. Розрахунки й моделювання підтверджують працездатність пристрою. Також по матеріалам дипломного проекту було розроблено прототип. Також був підписаний акт про впровадження даного проекту на підприємство.

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Список літератури

1. Know about Access Control Systems and Their Types with Features [електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.elprocus.com/understanding-about-types-of-access-control-systems/>
2. How a Door Access Control System Works [електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.sonitrolsc.com/door-access-control-system-works>
3. Биометрические системы контроля доступа [електронний ресурс] – режим доступу: https://delishes.com.ua/sistemyi_dostupa1.html
4. Биометрические системы [електронний ресурс] – режим доступу: https://www.bezpeka-shop.com/catalog/biometricheskie_sistemy/
5. Internet of things (IoT) [електронний ресурс] – режим доступу: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
6. A Simple Explanation Of 'The Internet Of Things' [електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.forbes.com/sites/jacobmorgan/2014/05/13/simple-explanation-internet-things-that-anyone-can-understand/#5236adc21d09>
7. What is the internet of things? [електронний ресурс] – режим доступу: <https://www.theguardian.com/technology/2015/may/06/what-is-the-internet-of-things-google>
8. Serial Peripheral Interface [електронний ресурс] – режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
9. Друковані плати [електронний ресурс] – режим доступу: <https://studfiles.net/preview/3742320/>
10. Классы точности печатных плат (PCB) [електронний ресурс] – режим доступу: <http://microsin.net/adminstuff/others/pcb-classes.html>
11. Ур-231 [електронний ресурс] – режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80-231>
12. FR-4 [електронний ресурс] – режим доступу: <http://www.pcbpro.ru/materialy-pechatnyh-plat/tech-fr4/>

13. Котушка індуктивності [електронний ресурс] – режим_доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>

14. С. М. Боровиков. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учеб.-метод. пособие. – Минск : БГУИР, 2010. – 68 с.

15. Савельев Л. Я-. Овчинников В. Л. Конструирование ЭВМ и систем: Учебник для техн. вузов по спец. «Электрон. выч. маш.» — М.: Высш. шк., 1984. – 248 с.

16. Лескин В.Ф., Методические указания по конструкторско-технологическому и электрическому расчету печатных плат // В.Ф. Лескин, А.Н. Лысенко, Т.Л. Захарченко – Киев, НТУУ «КПИ», 2010.

17. Выбор радиаторов и расчет температур [електронний ресурс] – режим_доступу: https://studopedia.ru/3_33918_vibor-radiatorov-i-raschet-temperatur.html

18. Расчет радиатора [електронний ресурс] – режим_доступу: <https://pandia.ru/text/78/314/24389.php>

ГОСТ 12.2.007-75 Система стандартов безопасности труда ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ Общие требования безопасности

ГОСТ 23571-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции.

ГОСТ 23752-79 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Общие технические условия.

ДСТУ 3008:2015 ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ Структура та правила оформлювання

ДСТУ 2646-94 ПЛАТИ ДРУКОВАНІ Терміни та визначення

ОСТ 4.010.022 – 85 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Методы конструирования и расчета

ГОСТ Р 50621-93 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ ОДНО- И ДВУСТОРОННИЕ С НЕМЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ Общие технические требования

					ДК52.425723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Анк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Додаток А

Технічне завдання на проектування

1. Найменування та галузь використання

Система контролю доступу. Галузі використання: безпека приміщень, безпека житлових будинків.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ»

3. Мета і призначення розробки

Безпечний доступ до контрольованих територій .

4. Джерело розробки

Завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського»

5. Технічні вимоги

5.1. Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється.

Система повинна складатись з:

- Основний блок плати
- Датчик RFID RC 522
- Картки RFID

Джерело живлення блока плати – USB роз'єм.

Показники призначення.

Розроблювана система повинна забезпечувати безпечний доступ до контрольованої території та передачу даних до ПК.

5.2.Вимоги до надійності.

Середній час напрацювання на відмову повинен бути на менше 30000 год.

5.3. Вимоги до технологічності.

Орієнтовані на передові прийоми розробки виготовлення на підприємствах України.

5.4. Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації.

Для виготовлення пристрою застосувати стандартні, уніфіковані деталі та вироби.

5.5. Вимоги безпеки обслуговування.

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75.

5.6. Вимоги до складових частин виробу, сировини, вихідних й експлуатаційних матеріалів.

Для виробництва пристрою повинні використовуватися матеріали імпортного виробництва, які можливо купити та замінити в Україні, або власна елементна база, яка розробляється в Україні.

5.7. Умови експлуатації.

Кліматичне виконання модулю керування УХЛ.4.1 згідно ГОСТ 15150-69. Для експлуатації в приміщеннях із кондиційованим або частково кондиційованим повітрям.

5.8. Вимоги до транспортування і зберігання.

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в зачинених, опалювальних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря $+5...+40^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря 60% при 20°C (середньорічне значення), атмосферний тиск $84...106\text{кПа}$.

Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі.

5.9. Додаткові технічні вимоги.

Технічні характеристики:

Габаритні розміри	не більше 20x10 см.
Маса	Не більше 80 г.
Живлення	5 В
Тепловий режим роботи	Не більше 150°C

6. Результати роботи

6.1. Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна

документація по створенню прототипу пристрою, його програмування, налагодження;

6.2. Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

7. Робота повинна містити в собі документи

- Пояснювальну записку (формату А4, до 80 аркушів)
- Схеми електричну принципові модуля відстеження рухів людини переліки елементів (формату А2 та А4 відповідно)
- Складальне креслення та специфікації (формату А1, А4 відповідно)
- Креслення друкованої плати (формату А2)
- Додатки (формату А1-А4)

8. Порядок розгляду й приймання роботи

Порядок розгляду й приймання роботи на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття роботи комісією на загальних умовах. У процесі виконання роботи проміжні звіти надаються комісії не рідше 1 раз у тиждень на загальних умовах.

9. Економічні показники

В умовах даного проекту не розглядаються.

10. Етапи розробки

№ з/п	Назва етапів виконання Дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	16.03.19-26.03.19	виконано
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	26.03.19-02.04.19	виконано
3	Схемо-технічне проектування	02.04.19-09.04.19	виконано
4	Виконання креслень схеми електричної принципової	09.04.19-23.04.19	виконано
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	23.04.19-30.04.19	виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	30.04.19-07.05.19	виконано
7	Розрахунок віброміцності друкованої плати	07.05.19-14.05.19	виконано
8	Проектування у Altium Designer	14.05.19-21.05.19	виконано

9	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	21.05.19-28.05.19	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	28.05.19-12.06.2019	виконано

Додаток В

```
sudo raspi-config
```

```
sudo reboot /
```

```
lsmod | grep spi
```

```
sudo nano /boot/config.txt
```

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt-get upgrade
```

```
sudo apt-get install python3-dev python3-pip
```

```
sudo pip3 install spidev
```

```
sudo pip3 install mfrc522
```

```
mkdir ~/pi-rfid
```

```
cd ~/pi-rfid
```

```
sudo nano Write.py
```

Записуємо наступні рядки коду.

```
#!/usr/bin/env python/
```

```
import RPi.GPIO as GPIO
```

```
from mfrc522 import SimpleMFRC522
```

```
reader = SimpleMFRC522 ()
```

try:

```
text = input('New data:')
```

```
print("Now place your tag to write")
```

```
reader.write(text)
```

```
print("Written")
```

finally:

```
GPIO.cleanup()
```

```
sudo python3 Write.py
```

```
cd ~ / pi-rfid
```

```
sudo nano Read.py
```

```
#!/usr/bin/env python
```

```
import RPi.GPIO as GPIO
```

```
from mfrc522 import SimpleMFRC522
```

```
reader = SimpleMFRC522 ()
```

try:

```
id, text = reader.read()
```

```
print(id)
```

```
print(text)
```

finally:

```
GPIO.cleanup()
```

```
sudo python3 Read.py
```